UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS ENVOLTÓRIAS DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS MULTIPISO EM ARACAJU/SE

Andrea Carla Peixoto Filgueiras

São Cristóvão - SE

2019

ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS ENVOLTÓRIAS DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS MULTIPISO EM ARACAJU/SE

Andrea Carla Peixoto Filgueiras

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.

Linha de Pesquisa: Gestão e Meio ambiente

Orientadora: Profª. Drª Carla Fernanda Barbosa Teixeira

Coorientadora: Profª. Drª Débora de Gois Santos

São Cristóvão - SE

2019

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ANDREA CARLA PEIXOTO FILGUEIRAS

APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE EM 23 DE ABRIL DE 2019

BANCA EXAMINADORA:

Prof.ª Dr.ª Carla Fernanda Barbosa Teixeira
Orientadora

Prof.ª Dr.ª Débora de Gois Santos
Coorientadora

Prof. Dr. Ítalo Cesar Montalvão Guedes
1º Examinador
Universidade Federal de Sergipe

Prof. Dr. Carlos Henrique de Carvalho
2º Examinador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe

Ao meu Deus

e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Mestre dos mestres, Deus, por ter me dado à oportunidade de realizar mais um sonho! Sem Ele não conseguiria vencer esse grande desafio! Obrigada Senhor por estar sempre ao meu lado! A Ele toda honra e glória!

À minha família sou eternamente grata pelo apoio, dedicação, paciência, carinho e amor dedicados a mim durante essa etapa e em toda minha vida! São fundamentais e os melhores! Pais, irmã, cunhado, sobrinha e noivo, obrigada!

Sou grata aos meus professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PROEC) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), em especial a minha orientadora Carla Teixeira e coorientadora Débora Santos. Carla Teixeira, obrigada pelos conhecimentos compartilhados, sua experiência e seus ensinamentos foram essenciais para conclusão desse trabalho. Débora Santos, eu te agradeço pela sua sabedoria, dedicação, empenho e apoio, são características complementares e fundamentais para um trabalho com êxito.

Agradeço aos meus amigos do mestrado pelo companheirismo durante a caminhada nessa intensa estrada. Ao professor e amigo Fernando Márcio por sempre acreditar e me instruir desde a época da graduação.

E para finalizar, agradeço a todos que influenciaram de forma positiva o desenvolvimento desta dissertação. Obrigada! E que venham os próximos desafios!

RESUMO

O homem sempre buscou melhores condições de qualidade em suas moradias e, atualmente, esta ideia está associada à busca de um desempenho mínimo e eficiência de todos os elementos, componentes e sistemas que fazem parte das edificações. O desempenho térmico de uma edificação, além de proporcionar conforto aos usuários, influencia diretamente na eficiência energética, contribuindo de maneira bem incisiva na sustentabilidade do mundo. Com as normas e com o ideal cenário sustentável, é primordial que os sistemas construtivos das fachadas e coberturas das edificações apresentem um desempenho térmico mínimo. O objetivo geral dessa pesquisa é verificar se o sistema construtivo típico das envoltórias adotado nas edificações residenciais multipiso em Aracaju/SE atende aos requisitos de desempenho térmico mínimo da Norma de Desempenho. A pesquisa foi exploratória e dividida em quatro etapas, com delineamento através de métodos qualitativos e quantitativos. A primeira etapa foi a revisão bibliográfica, seguida da etapa com entrevista estruturada com representantes de incorporadoras e/ou construtoras locais, a partir da aplicação de questionários de perguntas abertas e fechadas. A terceira etapa foi o estudo de caso, com método simplificado e de simulação computacional, utilizando uma amostragem do padrão característico dos sistemas utilizados nas envoltórias locais. Por último, análise dos resultados e conclusão. Os resultados das entrevistas com as empresas foram significativos para o trabalho, onde foi percebido que os critérios utilizados para determinação da envoltória possuem prioridades em outros pontos, ao invés do desempenho térmico que as edificações devem proporcionar. Entretanto, o desempenho térmico é um critério crescente como preocupação nas empresas para o desenvolvimento dos projetos e construções de edificações residenciais multipiso, devido à implantação da Norma de Desempenho. Para os resultados do método simplificado, o sistema padrão atendeu ao desempenho térmico mínimo das envoltórias; porém, no método de simulação não atingiu o patamar desejado, conforme a Norma de Desempenho. Portanto, essa pesquisa evidencia a necessidade do estudo do desempenho térmico das envoltórias em um clima quente e úmido. Espera-se que o atendimento ao desempenho térmico mínimo seja alcançado ao se desenvolver projetos e especificações voltados para a melhor qualidade térmica das envoltórias de edificações residenciais multipiso, favorecendo o conforto térmico do usuário e a eficiência térmica do conjunto.

Palavras-chave: edificações residenciais multipiso; envoltória; desempenho térmico.

ABSTRACT

People have always sought better quality conditions in his dwellings and, currently, this idea is associated with the search for a minimum performance and efficiency of all the elements, components and systems that are part of the buildings. Apart from providing comfort for users, the thermal performance of a building influences directly on energy efficiency and contributes in a very incisive way to the sustainability of the world. With the norms and the ideal sustainable scenario, it is essential that the constructive systems of the facades and roofs of the buildings present a minimum thermal performance. The general aim of this work is to verify if the typical constructive system adopted on the envelopes of residential multi-floor buildings in the city of Aracaju/SE, meets the requirements of the minimal thermal performance of the Performance Standards. It was an exploratory research, divided in four stages, with design through qualitative and quantitative methods. The first stage was the bibliographic review, followed by the stage of structured interviews with representatives of incorporating companies and/or local builders, using open and closed questions. The third stage was a case study, with simplified method and computer simulation, using a sample of the characteristic standard of the systems used in the local envelopes. Finally, analysis of results and conclusion. The results of the interviews with the companies were significant for the work, where it was noticed that the criteria used to determine the envelope have priorities in other points, instead of the thermal performance that the buildings must provide. However, thermal performance is a growing criterion for the companies concerning the development of projects and constructions of multi-floor residential buildings, due to the implementation of the Performance Standards. For the results of the simplified method, the standard system met the minimal thermal performance of the envelope. However, in the simulation method it did not reach the desired level, according to Performance Standards. Therefore, this research shows the need for a thermal performance study in the envelopes in a warm and humid weather. It is expected that compliance with minimum thermal performance will be achieved by developing projects and specifications aimed at the best thermal quality of the multi floor residential buildings envelopes, favoring the thermal comfort of users and the overall thermal efficiency.

Keywords: *multi floor residential buildings; envelope; thermal performance.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE GRÁFICOS

LISTA DE QUADROS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMA	Amplitude média anual
ANTAC	Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CIB	*International Council for Research and Innovation in Building and Construction*
dpA	Desvio padrão da amplitude
dpT	Desvio padrão da temperatura média
EPS	Poliestireno Expandido
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ISO	*International Organization for Standardization*
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
NBR	Norma Brasileira
PBB	*Perfomance Based Building*
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SVVE	Sistema de Vedação Vertical Externa
SWERA	*Solar and Wind Energy Resource Assessment*
TMA	Temperatura média anual
TRY	*Test Reference Year*
VUP	Vida Útil de Projeto
XPS	Poliestireno Extrudado

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

O homem sempre buscou um abrigo para descansar e proteger-se das intempéries, a fim de viver em um nível de segurança e conforto desejável. Além da defesa das condições climáticas externas, essa busca por proteção originou a construção de estruturas físicas arquitetônicas que serviram e servem para a segurança do ser humano, ao se isolar de quaisquer condições adversas desconhecidas (REBELLO; LEITE, 2007).

Mesmo com a evolução da sociedade, o homem ainda busca melhores condições de qualidade em suas moradias. Atualmente, esta ideia está associada ao desempenho mínimo de todos os elementos, componentes e sistemas que compõem as edificações. Existe ainda a necessidade de se otimizar cada vez mais os processos construtivos de ambientes construídos para melhorar o desempenho e a eficiência de todo o sistema e também viabilizar o custo da edificação. Além disso, há necessidade de harmonia entre as diretrizes, padrões e materiais utilizados com questões sustentáveis, a fim de amenizar as interferências ambientais ocasionadas pela inserção das edificações no meio ambiente (CBIC, 2013).

As edificações (residenciais, comerciais, públicas, hospitalares e industriais) são responsáveis pelo alto consumo de energia e isso influencia diretamente o uso de recursos não renováveis para geração da mesma. Há uma preocupação crescente pelo desenvolvimento sustentável através de instrumentos regulatórios, como normas e certificações, ou até mesmo com ações voluntárias realizadas pela própria sociedade (LEE; YIK, 2004).

A edificação precisa dispor de um desempenho térmico e lumínico mínimo para que os usuários estejam em um nível de conforto que não exija um alto consumo de energia através de meios artificiais para atingi-los, influenciando diretamente a eficiência energética. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; SORGATO, 2015). Nesse contexto, a eficiência energética nas edificações está associada à relação adequada entre o conforto, o custo e o consumo energético, e todo esse conjunto contribui de maneira bem incisiva na sustentabilidade do mundo.

A arquitetura e todos os seus elementos constituintes devem funcionar como meio de proporcionar condições térmicas adequadas para o atendimento das exigências humanas de sobrevivência e de conforto, independente das condições térmicas externas. Para tanto, há diversos meios de projetar uma edificação aumentando sua eficiência energética através da

racionalização da energia artificial com condicionadores de ar, quente ou frio, iluminação e aquecedores de água, com o intuito de reduzir o gasto energético da edificação, consequentemente, o custo das contas de energia e amenizar a agressão ao meio ambiente (FROTA; SCHIFFER, 2001). Nesse sentido, Ramos *et al.* (2016) defendem que avaliar o desempenho térmico das envoltórias das edificações favorece o conforto térmico dos usuários e também a racionalização no uso de energia elétrica pelos mesmos.

Para determinação de um conjunto de parâmetros e estratégias construtivas que desempenhe condições térmicas apropriadas aos usuários, é necessário compreender onde será inserida a edificação, pois os fatores climáticos variam de região a região, tornando possível verificar as interferências de cada zona bioclimática[1] (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O Brasil possui uma vasta área territorial e diferenças climáticas entre regiões, por isso foi dividido em zonas bioclimáticas com características peculiares, presentes na NBR 15220 parte 3 (ABNT, 2005c). Ao estudar o clima do local da edificação, é possível conhecer os dados climáticos, favoráveis e desfavoráveis, e aliado aos conhecimentos das normas técnicas exigidas, esses devem resultar em interferências arquitetônicas. Essas interferências podem ser a partir do estudo da melhor localização da edificação no terreno, da verificação do índice de abertura para o exterior, da adequada especificação de materiais constituintes da envoltória do edifício e da inserção de elementos de proteção que proporcionem um equilíbrio térmico para a edificação (FROTA; SCHIFFER, 2001; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Quando se pensa, desde a concepção do projeto, em mecanismos e elementos adequados para um bom desempenho térmico, não significa necessariamente elevar o custo construtivo da edificação, mas sim prever uma boa qualidade, agregando valor ao empreendimento em relação ao valor investido. Com isso, beneficia-se a eficiência energética, a funcionalidade do conjunto e a manutenção da habitação ao passar dos anos pelos próprios usuários (FROTA; SCHIFFER, 2001).

No Brasil, em 2001, após a adoção de medidas para racionalização de energia elétrica (Pinto, 2001), o Planalto Nacional dispôs da Lei Nº. 10.295, Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001b), que previa a adoção da eficiência energética nas edificações construídas no país e outras medidas. Em 2003, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou a NBR 15220 que apresenta conceitos,

[1] Zona bioclimática é uma região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano (ABNT, 2005c).

parâmetros e diretrizes construtivas para o desempenho térmico das edificações. Essa normativa, que foi revisada em 2005, determinada pela Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações, está dividida em cinco partes (ABNT, 2005). Em 2009, criou-se a etiquetagem para avaliar a eficiência energética das edificações comerciais, de serviços e públicas e, em 2010, surgiu a etiquetagem para edificações residenciais (PROCEL Info, 2018g). Já em fevereiro de 2013, foi publicada a Norma de Desempenho, NBR 15575 (ABNT, 2013) e esta foi validada a partir de julho desse mesmo ano; entretanto, essa já vinha sendo estudada desde o ano de 2008. A Norma de Desempenho prevê um nível mínimo de desempenho para as edificações residenciais em diferentes quesitos (estrutural, lumínico, acústico, entre outros), incluindo o desempenho térmico, que avalia a envoltória da edificação, composta por paredes externas (fachadas) e coberturas.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece que, para o atendimento das exigências, o projetista possui a incumbência de determinar nos memoriais e nos projetos a Vida Útil de Projeto (VUP), detalhando os materiais e os sistemas produtivos para que a edificação atenda o nível mínimo de desempenho exigido. A depender da meta que se deseja alcançar, a edificação também pode apresentar o nível intermediário ou o superior.

Embora a Norma de Desempenho (ABNT, 2013) seja exigida apenas em edificações cujos projetos foram protocolados depois da data de sua publicação e a etiquetagem de eficiência energética para edificações residenciais ainda não seja de caráter obrigatório, o desempenho térmico energético é um fator importante para edificações em um clima quente e úmido, característico do local do presente estudo.

Para Cotta e Vieira (2015), o Brasil, como outros países em desenvolvimento, apresenta diversas regiões com clima quente, gerando um maior consumo de energia elétrica devido à alta utilização de condicionadores de ar, por exemplo. As edificações, sendo residenciais, públicas ou comerciais, consistem nos grupos que mais consomem energia atualmente. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2017), com o Balanço Energético Nacional de 2017, ano base 2016, os setores residencial (25,6%), comercial (17,2%) e público (8,3%) equivalem a 51,1% do total da composição setorial do consumo de eletricidade, ou seja, mais que a metade do consumo de eletricidade de todo o país, logo a preocupação de racionalização dessas é essencial para o desenvolvimento sustentável.

Assim, a otimização de todo o conjunto arquitetônico pode evitar o gasto energético com o uso de equipamentos condicionadores de ar e outros meios, além de influenciar o conforto térmico dos usuários e a qualidade construtiva durante a vida útil da edificação.

Fica evidente a importância da inserção das questões relacionadas ao desempenho térmico na cadeia produtiva das edificações, especialmente, residenciais. Portanto, é primordial que os sistemas construtivos das fachadas e coberturas de edificações residenciais multipiso em Aracaju/SE apresentem um desempenho térmico mínimo para um clima quente e úmido, favorecendo o conforto do usuário e a eficiência da edificação. Esse fato gera uma questão para estudo e análise.

Contudo, o provável critério de escolha do partido arquitetônico e dos materiais utilizados na envoltória das edificações residenciais multipiso na cidade de Aracaju/SE pode não ser necessariamente a preocupação com o desempenho térmico que esse conjunto deve proporcionar ao ambiente interno construído. Pressupõe-se que as empresas responsáveis favoreçam mais a estética, o custo do material e o padrão do empreendimento, conforme avaliações do mercado local realizada pelo empreendedor/construtor. Logo, esses parâmetros atuais de escolha podem atuar de forma negativa sem atender às necessidades para o desempenho térmico e para a qualidade de uma edificação multipiso. Ou, até mesmo, podem atender, por exemplo, devido à utilização de grandes espessuras dos materiais adotados e da orientação do prédio no terreno, porém podem não influenciar de uma forma tão significativa para o conforto do usuário e/ou para uma construção mais eficiente e sustentável.

A não obrigatoriedade normativa e a falta de fiscalização pelos próprios usuários também podem favorecer aos construtores a não valorização dos fatores de desempenho e de eficiência. Entretanto, tal cenário, paulatinamente, tem se alterado devido à influência positiva da vigência da Norma de Desempenho e da difusão dos seus conhecimentos para o mercado da construção civil e consumidor final.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral da pesquisa foi verificar se o sistema construtivo típico das envoltórias adotado em edificações residenciais multipiso na cidade de Aracaju/SE atende aos requisitos de desempenho térmico mínimo da Norma de Desempenho – NBR 15575/2013.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Estudar a importância do desempenho térmico da envoltória (fachada e cobertura) de uma edificação em uma zona bioclimática específica (zona bioclimática 8).

- Identificar os critérios adotados para definição do partido arquitetônico, da orientação solar das edificações e da especificação de materiais construtivos da envoltória pelos empreendedores/construtores locais.

- Caracterizar os sistemas construtivos das envoltórias de edificações residenciais multipiso construídas na cidade de Aracaju/SE, quanto aos seus materiais constituintes, a fim de identificar qual é o sistema de envoltória típico utilizado pelas construtoras locais.

- Verificar se houve mudança no desenvolvimento de edificações residenciais multipiso locais quanto ao desempenho térmico devido à exigência NBR 15575/2013.

- Verificar se há relevância, para as construtoras locais, sobre o atendimento de alguma medida de eficiência energética nas edificações residenciais multipiso.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O clima e a arquitetura

2.1.1 A Influência arquitetônica na temperatura interna dos ambientes construídos

Adequar a arquitetura das construções ao clima local é uma das preocupações dos arquitetos e engenheiros civis, de modo a alcançar condições de conforto e de qualidade para o usuário. Além disso, pode beneficiar a racionalização da energia no dia a dia das pessoas. Conforme Ribeiro (2013), essa necessidade de adequação já acontece há muito tempo no Brasil, pois os jesuítas portugueses construíam edificações adaptando-as ao clima através da inserção de seus elementos disponíveis na localidade.

Essa adaptação da arquitetura ao clima pode ocorrer com o estudo do clima local, com a utilização dos materiais, das técnicas e das formas, respeitando o ambiente físico, social, econômico e cultural. Essa ideia está atrelada ao conceito conhecido como Arquitetura Bioclimática que estabelece a adequação do projeto arquitetônico ao meio ambiente natural onde está sendo inserido. Tais premissas da Arquitetura Bioclimática diminuem o impacto e valorizam a questão estética, o conforto do usuário e a sustentabilidade (CORREA, 2002; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

As criações, adequações e intervenções arquitetônicas podem acontecer para amenizar a influência das temperaturas externas nos ambientes construídos e todos os princípios devem ser estudados e determinados durante a fase de projeto. Existem diversas variáveis climáticas como a radiação solar (luz e calor), a temperatura, a direção e a velocidade dos ventos e a umidade do ar (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Para Gonçalves e Graça (2004, p.4), “as variáveis climáticas que mais influenciam os edifícios, em termos de transferência de calor, são a temperatura do ar exterior e a radiação solar”.

Existem diversas possibilidades nos projetos arquitetônicos para propiciar sensações agradáveis nos ambientes internos, como à escolha adequada da forma da edificação, da implantação da mesma no terreno, dos materiais constituintes e dos elementos de proteções solares diretos (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Para atender a uma premissa estética e também às diferentes condições climáticas, pensa-se no partido arquitetônico com características distintas, onde a fachada impacta tanto a parte exterior quanto interior do edifício (KNAACK, 2007). Para Lamberts, Dutra e Pereira (2014), o partido arquitetônico, desenvolvido nas etapas iniciais do projeto, precisa ser

pensado com a adoção de conceitos bioclimáticos, ou seja, estratégias de condições naturais para resolver as interferências climáticas na edificação. A forma (*design*) escolhida para a edificação pode favorecer o sistema, por exemplo, ao se utilizar recortes na fachada. Esses recortes podem propiciar o sombreamento para áreas opostas ou até mesmo adjacentes, porém, as outras superfícies expostas diretamente às radiações solares irão apresentar um comportamento térmico diferente (FROTA; SCHIFFER, 2001). "Assim, a forma arquitetônica é uma importante variável para as condições interiores de conforto e, em consequência, para o desempenho energético da edificação." (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p.264).

A implantação da edificação no terreno é um ponto essencial, sendo necessário verificar, primeiramente, onde se encontra o terreno e estudar seu microclima, depois examinar a topografia da área, as legislações locais, o norte geográfico para analisar a correta orientação solar do edifício e o fluxo dos ventos. Outro ponto a ser analisado na implantação é o entorno da edificação, uma vez que podem existir elementos da malha urbana que interferem na circulação dos ventos e/ou no sombreamento da edificação, favorecendo ou não o sistema construtivo. A presença da vegetação no entorno e até internamente podem favorecer termicamente a edificação, gerando "microclimas internos" ao atenuar as condições apresentadas no "macroclima externo" (FROTA; SCHIFFER, 2001; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Consequentemente, esses estudos contribuem na qualidade e na durabilidade das estruturas da edificação, tendo em vista as interfaces existentes.

Nos projetos arquitetônicos é importante prever que os ambientes de permanência prolongada devem ser dispostos nas fachadas que possuem melhores condições de temperatura, de acordo com a incidência da radiação direta dos raios solares e do fluxo de ventos (FROTA; SCHIFFER, 2001; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Por exemplo, na região do objeto de estudo desta pesquisa, a fachada leste possui um bom desempenho, pois há incidência dos raios do sol nascente e origem dos ventos, ao contrário da fachada oeste que recebe o sol poente.

A quantidade e o dimensionamento das aberturas na envoltória também ajudam a proporcionar sensações agradáveis, tanto em climas frios quanto em climas quentes, adequando-se, especificamente, às características de cada clima. A disposição desses elementos de aberturas é fundamental para favorecer o fluxo dos ventos, sendo recomendada a ventilação cruzada em climas quentes. De acordo com Frota e Schiffer (2001), em climas quentes e úmidos, característico do local do estudo, há necessidade de colocar aberturas para

propiciar a ventilação natural quando a condição térmica externa estiver mais amena que os ambientes internos. Entretanto, essas mesmas aberturas podem precisar de proteção para barrar a radiação solar direta e essas proteções devem estar bem posicionadas para não serem empecilhos para os ventos.

Os elementos de proteção, como brises, toldos, marquises, pergolados, ou até mesmo cortinas e persianas, otimizam a eficiência térmica da edificação, ao proteger da radiação solar direta. Embora as cortinas e persianas sejam elementos a serem inseridos na edificação após a construção, esses são muito utilizados como barreiras à radiação em cômodos de permanência prolongada (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Os elementos e materiais que constituem as fachadas e coberturas da edificação são importantes para redução de trocas térmicas entre as faces internas e externas. Segundo Knaack (2007, p.8), "a definição de materiais de superfície e estruturais e sua aplicação detalhada é uma expressão do edifício como um todo. Assim, o detalhe faz parte do conceito arquitetônico, para ser entendido como um elemento em uma escala especial". A especificação é, na maioria das vezes, responsabilidade do arquiteto que deve observar a transmitância térmica, resistência térmica, capacidade térmica, inércia térmica, atraso térmico, fator solar e absorvidade e refletividade dos materiais (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Portanto, o tipo e a cor do material, a partir das propriedades térmicas que eles apresentam, aumentam a resistência térmica do sistema, devendo ser prioridade no detalhamento do profissional de arquitetura. No clima quente e úmido, a prioridade sempre são cores claras utilizadas na envoltória da edificação (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Outros pontos importantes a serem analisados e contemplados no desenvolvimento do projeto da edificação são a análise da função destinada para o edifício, o estudo do perfil dos usuários e o respectivo programa de necessidades (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Na realidade, a adequada resposta térmica da edificação às condições climáticas locais exige um equilíbrio de todas essas estratégias projetuais para os modelos construtivos, evitando ambientes internos desagradáveis. Além disso, a criação de projetos mais eficientes termicamente beneficia a sustentabilidade nas edificações.

2.1.2 A Influência da envoltória na temperatura interna dos ambientes construídos

A envoltória, composta pela fachada e cobertura do edifício, apresenta uma grande influência na temperatura interna dos ambientes, pois funciona como "casca" e é a partir dela que a radiação solar direta e os ventos podem atingir o interior da edificação; por isso, essa

possui um “papel fundamental nos esforços recentes pela busca de eficiência energética e conforto ambiental no interior dos edifícios” (ARANTES; LABAKI, 2016, p.470).

Para Goia *et al.* (2010), a preocupação com a envoltória da edificação e sua inovação foi proveniente da conscientização perante os custos ambientais apresentados pela construção civil e a relação da envoltória ineficiente e o maior consumo de energia do prédio. Assim, as estratégias arquitetônicas, descritas no tópico acima, como o estudo da forma, a implantação da edificação no terreno, o dimensionamento e a quantidade de aberturas nas fachadas, a inserção de elementos de proteção e dos materiais constituintes são diretrizes que interferem diretamente na envoltória da edificação, logo devem ser trabalhadas pensando na otimização da fachada e da cobertura da edificação.

Lam (2000) *apud* Ghisi, Tinker e Ibrahim (2005) mostrou, em seu trabalho, que 45% da carga térmica para resfriamento de uma edificação residencial multifamiliar em Hong Kong é devido ao ganho de calor proveniente das janelas presentes na envoltória, ou seja, essas aberturas na fachada impactam diretamente o desempenho térmico do conjunto. De acordo com Knaack (2007, p.5), “a vista, a iluminação, a ventilação, o conforto do usuário, alguns serviços de construção e possivelmente a capacidade de carga são todas as tarefas que a fachada pode precisar atender”.

Segundo um estudo de caso realizado por Rómero e Reis (2012) no estado de São Paulo, mesmo a fachada representando a maior área da envoltória de uma edificação comercial, sua contribuição total com a carga térmica foi menor que a cobertura, pois os ganhos térmicos da fachada foram através da radiação difusa e da diferença do ar externo com o ar interno. Na hora de pico do sol, às 12 horas, no verão, a incidência é direta na cobertura da edificação, tornando sua contribuição maior, principalmente em climas tropicais, representando aproximadamente 60% de carga térmica máxima no horário de pico (12h) (Tabela 1). Esses valores também sofrem influência da quantidade de aberturas e dos materiais empregados na envoltória, podendo variar em cada caso.

Tabela 1: Contribuição das coberturas para a carga térmica total da edificação – estudo de caso

	Situação Atual
Carga térmica total (W)	1.096.060 W
Carga térmica das coberturas	648.621 W
Contribuição das coberturas	59,2%

Fonte: Adaptado de RÓMERO; REIS, 2012.

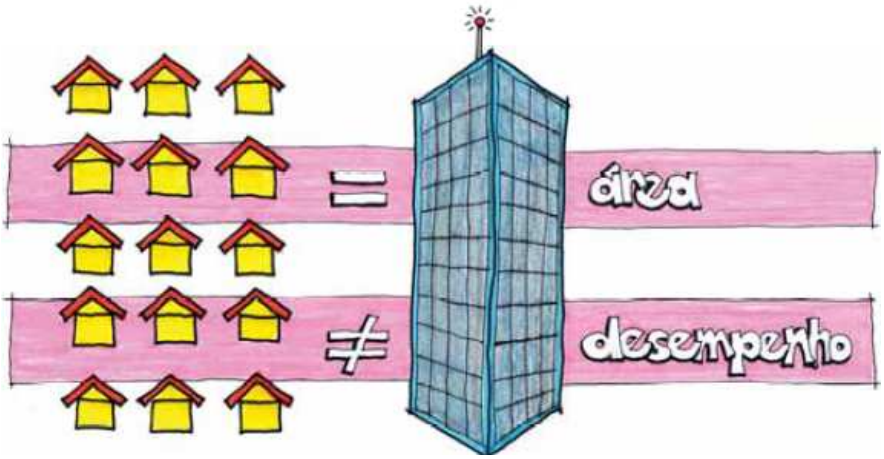
Lamberts, Dutra e Pereira (2014) ilustram na Figura 1 que mesmo as edificações com volumes semelhantes e com formas diferentes podem apresentar distintos comportamentos térmicos, variando de acordo com a orientação e a estação do ano.

Figura 1: Diversas formas para um mesmo volume

Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014.

Outra questão observada por Lamberts, Dutra e Pereira (2014) foi a área de exposição que a envoltória é submetida. Por exemplo, em uma casa térrea toda a área da envoltória recebe radiação solar direta e ventilação, e a cobertura é o componente que possui maior contribuição no ganho térmico. Já em uma edificação multiresidencial vertical, alguns apartamentos recebem maior influência climática do que outros, justificando o critério estabelecido na Norma de Desempenho que para simular o desempenho térmico deve-se escolher a unidade mais crítica da edificação[2]. Deste modo, ao se comparar diversas casas e uma edificação multipiso com uma mesma área o desempenho térmico apresentado será diferente (Figura 2).

Figura 2: Casas isoladas X edifício residencial



Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014.

[2] Por exemplo, em uma edificação multiresidencial vertical no verão, a unidade mais crítica será a do último pavimento, que recebe influência direta da cobertura; além disso, a mesma precisa ter uma janela exposta na fachada oeste (prioritário) e uma parede externa para fachada norte.

Para Frota e Schiffer (2001), as edificações nos climas quentes e úmidos, onde a amplitude térmica diária não é tão significativa, devem apresentar os materiais das envoltórias com inércia térmica de média a leve para poder dissipar o calor interno, adquirido durante o dia, no período noturno, quando a temperatura externa está mais amena que a interna. De acordo com Papst (1999), a cobertura recebe incidência solar direta, portanto é recomendada a utilização de materiais com a inércia média para evitar o aumento da temperatura interna. Além disso, sugere, principalmente nas coberturas, a inserção de elementos isolantes e a utilização de espaços ventilados abaixo das telhas para retirar o calor acumulado nesses locais, evitando que esse atravesse para os ambientes internos (PAPST, 1999; FROTA; SCHIFFER, 2001).

Papst (1999, p.18) ainda afirma que em um clima quente e úmido, "os benefícios derivados de uma parede com massa pesada podem ser desconsiderados pelos ganhos e perdas de uma cobertura não isolada", já que o maior ganho térmico das paredes externas da fachada é através das aberturas e dos materiais utilizados nelas. Assim, a utilização de uma massa térmica maior é mais justificável na cobertura para esse tipo de clima ou, então, a utilização de algum material isolante nela. Com isso, é evidente que a envoltória (fachada e cobertura) deve envolver uma maior atenção ao ser definida em uma edificação.

2.1.3 Zona Bioclimática: influência das características climáticas nas edificações

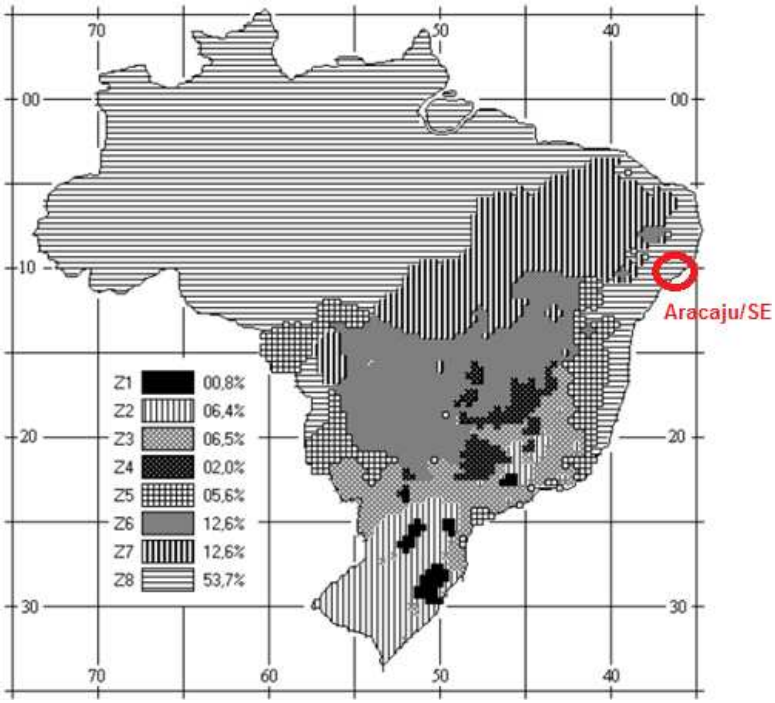
O fator climático interfere diretamente nas condições térmicas internas das edificações, sendo necessário o seu estudo desde a etapa de projeto. Para entender as influências do clima na arquitetura, é primordial conhecer a zona bioclimática onde o terreno da implantação da edificação está localizado.

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005c) determina o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, dividindo em oito regiões (Figura 3) a partir das condições climáticas que cada uma delas apresenta ao se observar as médias mensais das temperaturas máximas e mínimas e as médias mensais das umidades relativas do ar. A norma também orienta com caráter informativo algumas estratégias para o condicionamento térmico passivo nas edificações, ou seja, norteia a utilização dos recursos climáticos locais.

A região do objeto de estudo deste trabalho é a cidade de Aracaju/SE e está na zona bioclimática 8 (Figura 3). Essa zona bioclimática é considerada a mais quente e, por isso, as edificações precisam apresentar as seguintes diretrizes construtivas: as aberturas precisam ser

grandes e sombreadas e as vedações externas de parede e cobertura devem ser leves refletoras (ABNT, 2005c).

Figura 3: Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: Adaptado de NBR 15220-3 (ABNT, 2005c).

As paredes e coberturas para serem denominadas como leves refletoras precisam ter as características de transmitância térmica (U)[3], atraso térmico (φ)[4] e fator solar (FS_o)[5], como descritos no Quadro 1.

Quadro 1: Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa

	Transmitância térmica – U ($W/m^2.K$)	**Atraso térmico - φ (h)**	**Fator solar – FS_o (%)**
Parede leve refletora	$U \leq 3,60$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
Cobertura leve refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
Notas * Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar (Ver ABNT NBR 15220-2); *As aberturas efetivas para ventilação são dadas em porcentagem da área de piso em ambientes de longa permanência; * No caso de coberturas (este termo deve ser entendido como o conjunto telhado mais ático mais forro), a transmitância térmica deve ser verificada para fluxo descendente; * O termo "ático" refere-se à câmara de ar existente entre o telhado e forro.			

Fonte: Adaptado de NBR 15220-3 (ABNT, 2005c).

[3] A transmitância térmica é o "fluxo de calor que atravessa a área unitária de um componente ou elemento quando existe um gradiente térmico de 1K entre suas faces opostas, sendo o fluxo expresso em Watts/m².K. Inverso da resistência térmica." (CBIC, 2013, p.138).

[4] O atraso térmico é o "tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor." (ABNT, 2005a, p.6).

[5] O fator solar é o "quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo." (ABNT, 2005a, p.6).

Como estratégia de condicionamento térmico passivo para zona bioclimática 8, a NBR 15220-3 (ABNT, 2005c) destaca a utilização da ventilação cruzada permanente, porém pondera que em épocas mais quentes no verão, com temperaturas elevadas, esta prática não será suficiente, havendo necessidade de adequação de outras variáveis construtivas na edificação. Para conseguir a ventilação cruzada, é necessário criar aberturas opostas de entrada e saída do ar, promovendo o fluxo do vento. Ressalta-se que, esse fluxo é influenciado pela relação com o entorno onde se encontra a edificação.

Além da ventilação cruzada, a NBR 15220-3 (ABNT, 2005c) determina para a zona bioclimática 8 a necessidade de renovação do ar através da ventilação dos ambientes internos da edificação para a desumidificação, favorecendo a sensação térmica dos usuários nos recintos (ABNT, 2005c).

Em estudo realizado por Maurício Roriz, discutido desde o ano de 2012 na Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), tem sido apresentada uma proposta de 24 grupos climáticos no território brasileiro para atualização do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (CBIC Brasil, 2018a). Ambos os documentos são utilizados para regulamentar a etiquetagem de edificações pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL).

O estudo citado mostra que a divisão do país em apenas 8 zonas, conforme a NBR 15220-3, é inadequada perante a extensa área territorial, uma vez que algumas cidades apresentam características climáticas diferentes de outras e estão atualmente alocadas em uma mesma zona, influenciando diretamente o desempenho térmico das edificações. Em 2014, Roriz propôs a classificação dessas 24 zonas a partir de algumas características, como a "temperatura média anual (TMA), desvio padrão da temperatura média (dpT), amplitude média anual (AMA), desvio padrão da amplitude (dpA)" (BAVARESCO, 2017, p.3).

Nessa nova proposta de grupos climáticos, a cidade de Aracaju/SE está no grupo 21, juntamente com as cidades de Salvador/BA, Maceió/AL, João Pessoa/PB, entre outras (BAVARESCO, 2017). Embora essas informações sejam pertinentes, elas ainda não foram consolidadas no âmbito normativo, logo a presente dissertação utilizou como base as características e estratégias da zona bioclimática 8, determinada pela ABNT NBR 15220-3, para verificar o desempenho térmico da envoltória do objeto de estudo.

2.2 Desempenho das edificações

A preocupação com o desempenho das edificações surgiu com uma abordagem subjetiva na era babilônica pelo rei Hamurabi, entre o período de 1955 a 1913 a.C., que instituiu o Código de Hamurabi. Esse código determinava em um de seus princípios que o construtor precisava atender à necessidade de segurança e estabilidade das habitações através do desempenho estrutural da casa, apresentando até punições ao construtor caso a edificação não se comportasse adequadamente (ADDIS, 2009; SINAENCO, 2015). Segundo Foliente (2004), o conceito de desempenho também estava presente nas escrituras de Vitrúvio em seu livro *"The Ten Books of Architecture"*.

Em 1925, nos Estados Unidos da América, o *U.S. National Buerau of Standards* criou um relatório conceitual voltado para o desempenho da construção em condições de uso, estabelecendo a necessidade de testes para averiguar o comportamento apropriado. Ainda nos Estados Unidos, na década de 1970, foi suscitado um documento com critérios de projetos e de avaliação para construções de edificações a partir de um programa conhecido como *Operation Breakthrough* (BORGES, 2008).

Em 1953, foi criado o *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* (CIB), conselho responsável pela investigação e inovação no edifício e na construção. Um dos objetivos de sua criação foi a reconstrução da Europa após a Segunda Guerra Mundial e desde o ano de 1970 esse conselho trata de assuntos voltados para o desempenho das edificações, tendo o maior foco em 1998, quando levantou o tema de estudo *Perfomance Based Building* (PBB), ou seja, construção baseada no desempenho (CIB World, 2017).

Ainda no cenário internacional, a *International Organization for Standardization* (ISO), criou as normas ISO 6240:1980 - *Performance standards in buildings - Contents and presentation,* ISO 6241:1984 - *Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered,* ISO 7162:1992 - *Performance standards in building - Contents and format of standards for evaluation of performance,* ISO 9699:1994 - *Performance standards in building - Checklist for briefing - Contents of brief for building design,* ISO/PAS 22539:2007 - *User guidance to ISO 15928 - Houses - Description of performance,* que, em 2016, foram revisadas para a ISO 19208:2016 - *Framework for specifying performance in buildings,* com o princípio de estabelecer padrões de desempenho para as edificações (ISO, 2018).

Assim, diante do crescimento da população mundial e da exigência ao atendimento às necessidades de qualidade, conforto e sustentabilidade, aliados ao avanço tecnológico e desenvolvimento da construção civil, muitas instituições vêm estudando o desempenho das edificações, aumentando o interesse e preocupação para essa área de conhecimento.

O desempenho é a forma de analisar o comportamento do produto diante de sua utilização, evidenciando as características importantes para o seu funcionamento e operação. Logo, o termo desempenho vinculado a edificações apresenta uma ideia de satisfazer ao usuário a partir do cumprimento das exigências do mesmo, atendendo a condições de exposição e uso, sendo essas de origem natural ou relacionadas à utilização e concepção do produto (SOUZA, 2015).

O primordial para determinar o desempenho de edificações não é apenas a especificação do material e do sistema que deve ser utilizado, mas estabelecer quais são os requisitos e critérios para avaliar a funcionalidade, a qualidade, a durabilidade e a segurança do produto, ou seja, seu comportamento em uso. Caso o foco fosse apenas a escolha dos tipos de materiais que deveriam ser utilizados, isso limitaria o caráter inovador, portanto o ideal é pensar se os materiais serão adequados para desempenhar um nível de satisfação e qualidade desejável. Essa ideia é importante, pois são criadas opções de sistemas construtivos e parâmetros quantitativos e/ou qualitativos a serem seguidos, sem excluir novas possibilidades, a fim de atender o desempenho determinado. Essas novas possibilidades também precisam ser pensadas para se adequarem à realidade local e ao custo, pois ao serem aplicadas precisam de uma boa aceitação do público alvo (SOUZA, 2015).

Desse modo, a utilização do conceito desempenho deve estar presente no processo de planejamento do produto, de projeto, de fabricação dos materiais e de construção da edificação, podendo variar sua qualidade a partir de soluções adequadas para o bom desenvolvimento do ambiente construído e sua relação com os seus ocupantes. O desempenho da edificação favorece diretamente na eficiência do conjunto e nas condições satisfatórias para o conforto dos usuários; embora esse último seja classificado como subjetivo, existem parâmetros a serem atendidos para conseguir atingir uma meta média de qualidade (CBIC, 2013).

Foliente (2004) fala que ao trabalhar com desempenho é necessário pensar nos “fins” e não nos “meios”, pois assim atende a requisitos funcionais e/ou de desempenho específico dos atributos técnicos de uma edificação. Por exemplo, deve-se pensar na segurança (“fins”) e não apenas na estabilidade estrutural (“meios”) para que, dessa forma, possa atingir todo o ciclo

de vida do edifício. O autor ainda cita quais são os envolvidos no processo de implantação de desempenho nas edificações e coloca grau de importância de ordem crescente na influência dos mesmos para ampliação e adoção desse conceito (vide Quadro 2).

Quadro 2: Agentes envolvidos no processo de implantação de desempenho nas edificações

GRAU I
Funcionários de construção, consultores especializados, gerentes de projeto, prestadores de serviços para gerente de instalação, *Software* / profissionais de TI, Professores / educadores
GRAU II
Políticos que possuem decisões, arquitetos e *designers*, profissionais de engenharia, fabricantes de produtos, construtores / contratados e subcontratantes, gerentes de instalações, pesquisadores
GRAU III
Reguladores (planejamento, construção e saúde ocupacional e segurança, etc), investidores e financiadores, desenvolvedores, proprietários e proprietários-ocupantes, usuários / inquilinos

Fonte: Adaptado de FOLIENTE (2004).

Para o autor, o usuário é considerado o elemento mais crítico no processo de engajamento, pois "a abordagem de desempenho é focada em atender às necessidades e exigências daqueles que adquirem o edifício e/ou eventualmente usarão o edifício" (FOLIENTE, 2004, p. 3).

Uma forma de avaliar o desempenho é através de cálculos, simulações e ensaios técnicos que geram diretrizes conceituais determinadas em normas nacionais e legislações locais, como códigos de obras, que prescrevem parâmetros construtivos, os quais devem ser seguidos no âmbito da construção civil (SOUZA, 2015). Assim, os regulamentos são essenciais para eliminar ou diminuir práticas ruins na área da construção, assegurando os usuários e toda a comunidade (FOLIENTE, 2004).

Para atender a esse compromisso com o desempenho no âmbito da construção civil brasileira, a Associação de Normas Brasileiras (ABNT) publicou em 2013 a Norma de Desempenho NBR 15575, que determina níveis mínimos de exigências, a fim de garantir a vida útil, qualidade, durabilidade, segurança, sustentabilidade e manutenibilidade das edificações.

2.3 A Norma de Desempenho – NBR 15575/2013

2.3.1 A Norma

A sociedade tem sofrido transformações em diversos aspectos, como sociais, culturais, econômicos, tecnológicos, políticos e ambientais. Essas mudanças atingem aos diversos processos da cadeia produtiva da construção civil e influenciam a qualidade de todo o meio em que a população se relaciona. Outro ponto de transformação foi o crescimento da produção de habitações no país juntamente com a exigência dos compradores. Assim, para

atender a uma qualidade mínima das edificações residenciais, surgiu à necessidade de estabelecer requisitos e critérios de desempenho para as habitações no país (SANTOS *et al.*, 2016).

No Brasil, a preocupação com o desempenho em edificações teve maior ênfase no período de 2008 a 2010 quando foi desenvolvida a Norma de Desempenho – NBR 15575 – com foco em empreendimentos de baixa renda (Borges, 2008). Mas, devido à dificuldade econômica do país a norma não entrou em vigor nesse período.

Após um tempo, a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), apoiada por instituições de ensino, empresas e órgãos, solicitou que a ABNT fizesse a revisão da NBR 15575, que entrou em vigor em 2013. A NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho é destinada para avaliação do desempenho de unidades habitacionais e está dividida em seis partes de atendimento aos sistemas construtivos: requisitos gerais; requisitos para os sistemas estruturais; requisitos para os sistemas de pisos; requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas; requisitos para os sistemas de coberturas; e requisitos para os sistemas hidrossanitários (CBIC, 2013; CHVATAL, 2014). Para a avaliação desses sistemas existem atributos primordiais como a segurança, habitabilidade e sustentabilidade (SANTOS *et al.*, 2016; SINAENCO, 2015).

A NBR 15575/2013 atua juntamente com outras normas brasileiras e tem como objetivo principal apresentar parâmetros de desempenho para garantir a qualidade mínima das habitações no país, assegurando estabilidade, durabilidade, segurança e conforto ao usuário, independente do padrão social em que a habitação pertence (CBIC, 2013; OKAMOTO; MELHADO, 2014). Segundo Cotta e Andery (2016), a Norma de Desempenho se diferencia de uma grande parte de outras normas prescritivas no país, pois apresenta esse caráter descritivo ao detalhar e determinar o comportamento das edificações durante sua utilização. A norma contribui ainda na orientação da compra de um imóvel, na valorização dos projetos e na otimização dos recursos utilizados (CBIC, 2013).

Para Sinaenco (2015), a NBR 15575/2013 também influencia de forma positiva na valorização dos profissionais de arquitetura e de engenharia ao estimular a busca por maior conhecimento técnico para o atendimento dos requisitos estabelecidos. Além disso, garante ao cliente uma defesa jurídica no momento de exigir seus direitos de qualidade de sua habitação (CBIC, 2013).

Essa norma estabelece conceitos importantes como a Vida Útil da edificação (VU) e a Vida Útil de Projeto (VUP). O primeiro remete ao período de funcionamento da edificação, atendendo ao desempenho mínimo e à utilização de maneira adequada e corretiva. Já o segundo é a determinação do período de tempo em que o projeto precisa atender para cumprir a VU, ou seja, influencia diretamente no primeiro conceito (CBIC, 2013).

Para por em prática esse novo paradigma na construção civil, é necessário uma conscientização de todos os agentes envolvidos, tais como: os incorporadores, os construtores, os projetistas, os fornecedores e os usuários do sistema (ABNT, 2013a). O Quadro 3 mostra as principais incumbências dos envolvidos, de acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

Quadro 3: Responsabilidades/Incumbências ao atendimento da NBR 15575/2013

Envolvidos	**Responsabilidade/Incumbências**
Incorporador	- Identificar os riscos previstos na época do projeto, através de estudos técnicos e enviar para os projetistas as informações necessárias. - Definir, juntamente com os projetistas, os níveis de desempenho (M/I/S) para os diferentes elementos da construção e para obra como um todo.
Construtor	- Elaborar o manual do proprietário e entregar ao usuário na entrega de sua unidade. No manual precisa conter a proposta de gestão de manutenção e a informação dos prazos de vida útil de projetos (VUP) e prazos de garantia pelo construtor ou incorporador.
Fornecedor de insumo, material, componente e/ou sistema	- Caracterizar o desempenho do componente, elemento ou sistema e fornecer o prazo de vida útil e cuidados na operação e manutenção.
Projetista	- Requerer as informações técnicas a incorporadora/construtora; - Solicitar as informações aos fabricantes de materiais para as decisões na especificação. - Estabelecer vida útil de projeto (VUP) nos memoriais e desenhos.
Usuário	- Utilizar adequadamente a edificação e realizar manutenções preventivas e corretivas de acordo com o manual do proprietário.

Fonte: Adaptado de NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

O critério exigido pela Norma de Desempenho é que as unidades de habitações, seus sistemas e elementos (a norma analisa o elemento isolado e também o sistema como todo), apresentem um desempenho mínimo (M), de caráter obrigatório. A depender do interesse, sem obrigatoriedade, existem outros critérios de desempenho, como intermediário (I) e superior (S) (CBIC, 2013). Com esses critérios, deve haver uma mudança no âmbito da construção civil, desde a criação do produto até o desenvolvimento e conclusão do mesmo, sem, necessariamente, interferir no preço final da edificação.

O ideal é que houvesse um equilíbrio entre as exigências da norma, o custo para atendê-las e a qualidade final das edificações. Essa sintonia, muitas vezes, é limitada por alguns obstáculos que precisam ser vencidos como: aprimorar as informações contidas na própria norma para um entendimento facilitado e claro; os fornecedores de insumos precisam

disponibilizar informações técnicas; os construtores precisam criar uma cultura voltada para a qualidade e melhoria da edificação, ou seja, uma preocupação não somente com o custo do empreendimento; melhorar o conhecimento sobre a norma diante os envolvidos, principalmente os projetistas; melhorar a viabilidade e confiabilidade das empresas de ensaios e consultorias (SANTOS *et al.*, 2016; CBIC Brasil, 2018a; SINAENCO, 2015).

Para Foliente (2004) é evidente que o comprometimento das partes interessadas é o principal pilar para implementar o desempenho nas edificações. Um ponto enfatizado por Okamoto e Melhado (2014) é que para serem concretizadas as práticas de desempenho pelos construtores e pelos envolvidos em geral, são necessários que os possíveis benefícios estejam bem claros, ou seja, não só expor uma questão de melhoria na qualidade, mas também um retorno econômico-financeiro e outras vantagens.

Assim, é importante a adaptação e aceitação no mercado, pois essa norma pode mudar a postura das empresas, dos fornecedores e dos usuários, apresentando os requisitos e critérios para as edificações em questões de segurança contra incêndio, no uso e na operação, na funcionalidade, na acessibilidade, na durabilidade, na manutenibilidade, no desempenho estrutural, acústico, lumínico e térmico. Conforme citado, o desempenho térmico de edificações residenciais multipiso na cidade de Aracaju/SE consiste no foco da presente pesquisa.

2.3.2 A influência da Norma de Desempenho no desempenho térmico e sua aplicação

Um dos pontos tratados na Norma de Desempenho é o desempenho térmico dos elementos e do sistema que constituem as edificações. Esse tema é encontrado na parte 1 da norma, que fala dos requisitos gerais, na parte 4, que trata dos requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas e na parte 5, que aborda os requisitos para os sistemas de coberturas, ou seja, já é perceptível pela norma que a envoltória é um elemento crítico do desempenho térmico das edificações.

O desempenho térmico da edificação influencia diretamente a eficiência energética da edificação e o conforto térmico dos usuários. Segundo Frota e Schiffer (2001, p.15), “as principais variáveis climáticas de conforto térmico são temperatura, umidade e velocidade do ar e radiação solar incidente”. A sensação de conforto térmico também pode variar a depender das atividades desenvolvidas no ambiente, quantidade de móveis e ocupantes no recinto, sexo, idade, condições físicas, psicológicas e até mesmo vestimentas, portanto, busca-se o nível mínimo de conforto, prevendo uma média entre os usuários (CBIC, 2013).

Para estudar o desempenho térmico de uma edificação e desenvolver um projeto atendendo ao desempenho térmico mínimo exigido, há necessidade de conhecer o local onde será construída a edificação, ou seja, conhecer a cidade com suas características climáticas, o terreno, sua topografia e o seu entorno (CBIC, 2013). Por exemplo, dois empreendimentos situados em uma mesma cidade podem apresentar diferentes níveis de desempenho térmico caso o entorno do terreno da implantação de uma edificação possua alguma barreira de ventilação (ponto negativo) ou algum sombreamento (ponto positivo).

Outro fator que influencia são as características da edificação, como a forma, a orientação solar, o pé direito dos ambientes, as aberturas para ventilação, os materiais que compõem a fachada e cobertura, etc (CBIC, 2013). Assim, podem-se ter diferentes tipologias de edificações para o mesmo local, porém uma atender ao desempenho térmico e a outra não, caso haja variação nas características físicas entre as edificações. Portanto, para a avaliação térmica, essas diretrizes precisam estar consolidadas e devem ser consideradas durante todo o processo, desde a concepção do projeto até a construção.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) determina alguns procedimentos normativos para avaliação térmica da edificação. O primeiro procedimento (1A), denominado como simplificado, é uma avaliação das propriedades de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT)[6] das paredes externas e das coberturas da edificação(CBIC, 2013), explicados mais adiante.

Vae salientar que a NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) explana os métodos de cálculos para determinar esses parâmetros térmicos, além de apresentar as propriedades térmicas de alguns materiais que servem de base de dados para os cálculos, como absortância para radiação solar (α), densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ), calor específico (c), etc.

Após os cálculos do sistema de vedação vertical externa (SVVE) é realizada a conferência dos parâmetros de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT), estabelecidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), os quais são mostrados nos Quadros 4 e 5 de acordo com cada zona bioclimática brasileira onde será ou foi realizada a construção.

[6] A capacidade térmica é a "quantidade de calor por área unitária necessária para variar em uma unidade a temperatura de um componente ou elemento. Expressa em kJ/m².K." (CBIC, 2013, p.138).

Quadro 4: Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância térmica (U) (W/m².K)		
Zonas bioclimáticas 1 e 2	**Zonas bioclimáticas 3 a 8**	
U ≤ 2,5	α ≤ 0,60	α > 0,60
	U ≤ 3,70	U ≤ 2,50
α é absortância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

Quadro 5: Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade térmica (CT) (kJ//m².K)	
Zonas 1 a 7	**Zona 8**
CT ≥130	Sem requisito

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

As dimensões das aberturas para ventilação devem respeitar a legislação local, ou caso não exista, atender aos requisitos da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) (Quadro 6). Essas dimensões devem atender ao requisito mínimo e, em relação ao desempenho térmico, aplicam-se apenas nos ambientes de uso prolongado como salas e dormitórios.

Quadro 6: Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar

Nível de desempenho	**Critério**	
	Zonas 1 a 7 Aberturas médias	**Zonas 8 Aberturas grandes**
Mínimo	A ≥ 7% da área de piso	A ≥ 12% da área de piso – região norte do Brasil A ≥ 8% da área de piso – região nordeste e sudeste do Brasil
Nota - Nas zonas de 1 a 6, as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.		

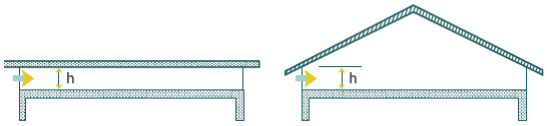
Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

Para as coberturas existem critérios mínimos de transmitância térmica e absortância à radiação solar encontrados na NBR 15575-5 (ABNT, 2013c), onde são considerados o fluxo térmico descendente e a zona bioclimática da edificação (Quadro 7). A norma ainda faz uma ressalva sobre as coberturas que estão expostas diretamente, ou seja, sem um telhado para sombrear, afirmando que essas composições precisam de algum isolante térmico para atender aos critérios estabelecidos.

Quadro 7: Transmitância térmica de coberturas

Transmitância térmica (U) (W//m².K)					
Zonas 1 e 2	**Zonas 3 a 6**		**Zonas 7 e 8 ***		**Nível de desempenho**
U ≤ 2,3	α* ≤ 0,6	α*> 0,6	α*≤ 0,4	α*> 0,4	M
	U ≤ 2,30	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV	
U ≤ 1,5	α* ≤ 0,6	α*> 0,6	α*≤ 0,4	α*> 0,4	I
	U ≤ 1,5	U ≤ 1,0	U ≤ 1,5 FV	U ≤ 1,0 FV	
U ≤ 1,0	α*≤ 0,6	α*> 0,6	α*> 0,4	α*> 0,4	S
	U ≤ 1,0	U ≤ 0,5	U ≤ 1,0 FV	U ≤ 0,5 FV	

*Na zona bioclimática 8 considera-se atendido o critério para coberturas em telhas cerâmicas, mesmo sem a presença de forro.
α é absortância à radiação solar da superfície externa da cobertura.
Nota: O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-3, em função das dimensões das aberturas de ventilação nos beirais, conforme indicações seguintes:



$FV = 1,17 - 1,07 \cdot h^{-1.04}$
FV = Fator de ventilação;
h = altura da abertura em dois beirais opostos, em centímetros.
Obs.: Para coberturas sem forro ou com áticos não ventilados, Fv=1.

Fonte: Adaptado de NBR 15575-5 (ABNT, 2013c) e CBIC (2013).

Caso algum desses requisitos não atinja o desempenho térmico mínimo exigido para uma dada região climática do local da obra, a norma determina que seja seguido o procedimento normativo (1B) através de uma simulação por *software Energy Plus*® ou outro *software* validado pela *ASHRAE Standard 140*.

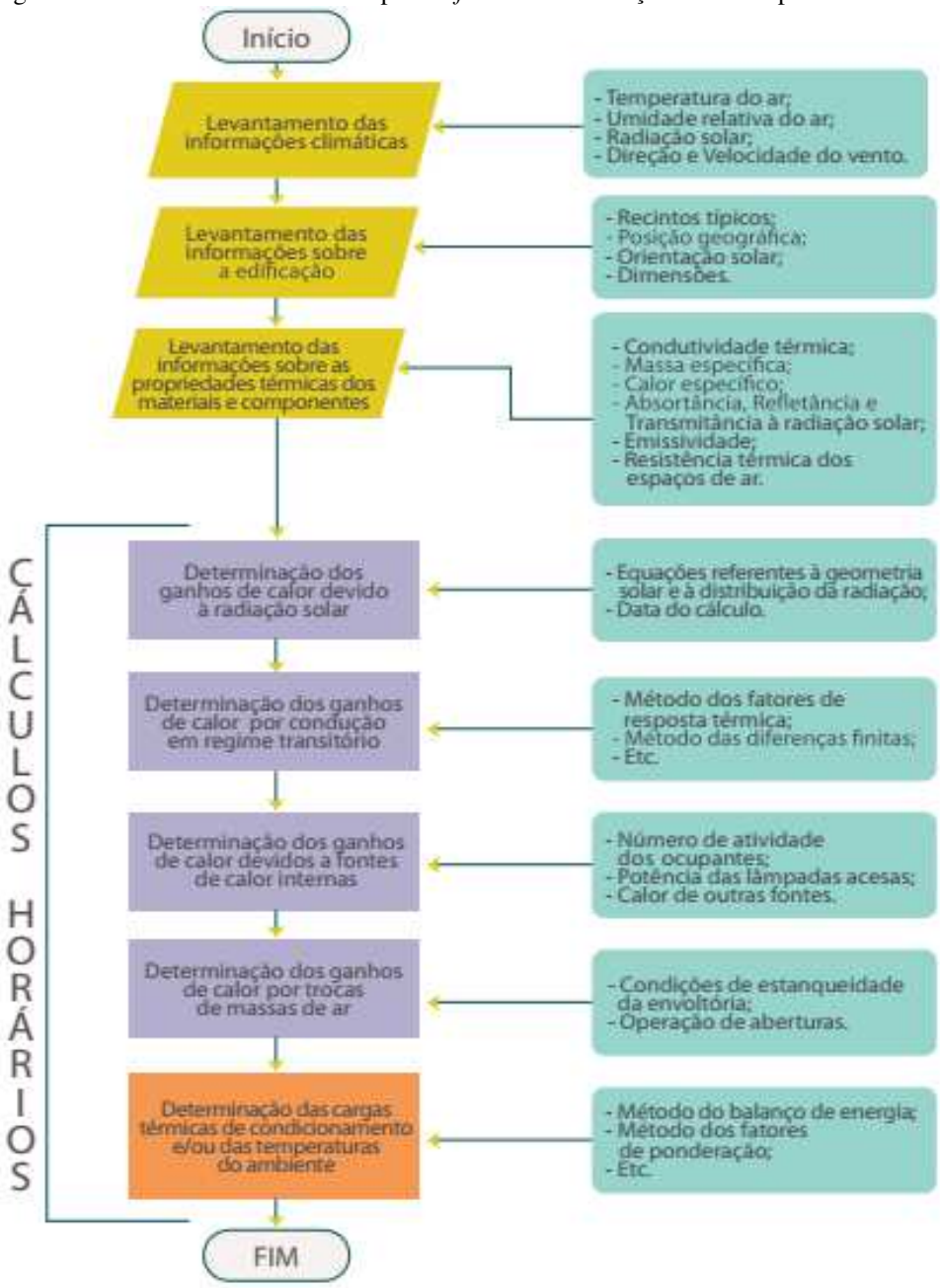
Com a simulação computacional, é possível fazer uma avaliação de todo o sistema, não só dos materiais de composição da fachada e da cobertura, mas, também verificar o desempenho do partido arquitetônico e seus elementos constituintes, como posição e dimensão de aberturas de portas e janelas, pé direito, orientação solar do conjunto, dimensão dos ambientes construídos.

Além da parte arquitetônica, para simulação, é necessário conhecer as variáveis climáticas como temperatura do ar, radiação solar, etc, dos dias típicos de projeto de verão e de inverno, pois esses apresentam variantes térmicas críticas (CBIC, 2013). Na parte 1 da NBR 15575 (ABNT, 2013a), encontra-se uma tabela com os dados de algumas cidades brasileiras, caso não possua a cidade de estudo, é recomendado utilizar cidades próximas com características climáticas semelhantes.

Outro ponto primordial são as características térmicas dos materiais constituintes da envoltória, como "condutividade térmica, calor específico, densidade de massa aparente, emissividade, absortância à radiação solar, características fotoenergéticas (vidros) e

resistência ou transmitância térmica dos elementos" (CBIC, 2013, p. 148). Alguns desses dados são obtidos através de ensaios em laboratórios ou com os próprios fornecedores e a norma 15220-2 (ABNT, 2005b) dispõe de algumas características de certos materiais. A Figura 4 exibe um resumo dos dados necessários para alimentar os *softwares* de simulação térmica. No caso para o desempenho térmico, segundo a Norma de Desempenho, não há necessidade de inserir alguns dados, por exemplo, as cargas térmicas internas geradas pelos ocupantes, lâmpadas acessas, equipamentos de condicionamento de ar, entre outros.

Figura 4: Características necessárias para *softwares* de avaliação do desempenho térmico



Fonte: CBIC, 2013.

Os ambientes que serão avaliados na edificação precisam ter caráter de permanência prolongada, como quartos e sala de estar, e apresentar uma orientação com duas faces voltadas para a fachada da habitação. Na simulação computacional para o verão, a janela do recinto precisa ser disposta para a fachada oeste e a outra parede para o norte, já no inverno a janela para o sul e a parede para o leste. Caso não consiga essas características específicas, é necessário adotar pelo menos as janelas para a fachada oeste e sul, no verão e inverno, respectivamente (ABNT, 2013a).

Em edificações que apresentem mais de um pavimento deve-se considerar a unidade logo abaixo da cobertura, pois a radiação solar incide diretamente na cobertura, tornando um ponto crítico na avaliação. Em relação ao sombreamento e à ventilação é determinado que a edificação não apresente obstrução e que exista uma renovação de ar por hora (1 ren/h) (ABNT, 2013a).

Mesmo ao se adotar esses critérios e requisitos na simulação a edificação não apresentar o desempenho térmico mínimo, a norma possibilita que considere 5 ren/h ou reduza em 50% a taxa de incidência solar direta pela janela (com a utilização de cortinas, persianas, películas, entre outros). Ainda que ainda não alcance o desempenho mínimo com essas mudanças, há a possiblidade de unir essas duas condições, realizando novamente a simulação (ABNT, 2013a).

Para Mendes *et al.* (2005, p.48), a simulação é fundamental para o processo, pois pode "estimar o consumo de energia, o custo desse consumo e até mesmo o impacto ambiental provocado pela alternativa de projeto antes mesmo da execução". Desse modo, ao conhecer o resultado, é possível interferir nas práticas de projeto, como especificação de materiais, sistemas e partido arquitetônico. Com isso, há mais de 290 *softwares* para simulação térmica e energética, listados no *Building Energy Tools Directory*[7], administrado pelo departamento de energia norte americano[8].

Após a simulação, é avaliado o resultado encontrado do sistema com os critérios de comportamento térmico para o verão e inverno. No verão (Quadro 8), para o nível mínimo de exigência, a temperatura máxima interna dos ambientes precisa ser menor ou igual à temperatura máxima externa em todas as zonas bioclimáticas brasileiras, sem considerar outras fontes de calor internas (ABNT, 2013a).

---

[7] https://buildingenergysoftwaretools.com/
[8] https://www.energy.gov/

Quadro 8: Critério de avaliação do desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	**Zona 8**
Mínimo	Ti,máx. ≤ Te,máx.	Ti,máx. ≤ Te,máx.
Intermediário	Ti, máx. ≤ (Te, máx.-2ºC)	Ti, máx. ≤ (Te, máx.-1ºC)
Superior	Ti, máx. ≤ (Te, máx.-4ºC)	Ti, máx. ≤ (Te, máx.-2ºC)
Ti,máx.- É o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius. Te,máx.- É o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. Ti,mín.- É o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius. Te,mín.- É o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. Nota - Zonas bioclimáticas de acordo com a NBR 15220-3.		

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

Já no inverno (Quadro 9), para o atendimento do nível mínimo, a temperatura mínima interna dos ambientes precisa ser maior ou igual à temperatura mínima externa acrescendo mais 3ºC, nas zonas bioclimáticas brasileiras de 1 a 5. Já nas zonas de 6 a 8, devido às condições climáticas apresentadas, não há necessidade de observar esse critério (ABNT, 2013a).

Quadro 9: Critério de avaliação do desempenho térmico para condições de inverno

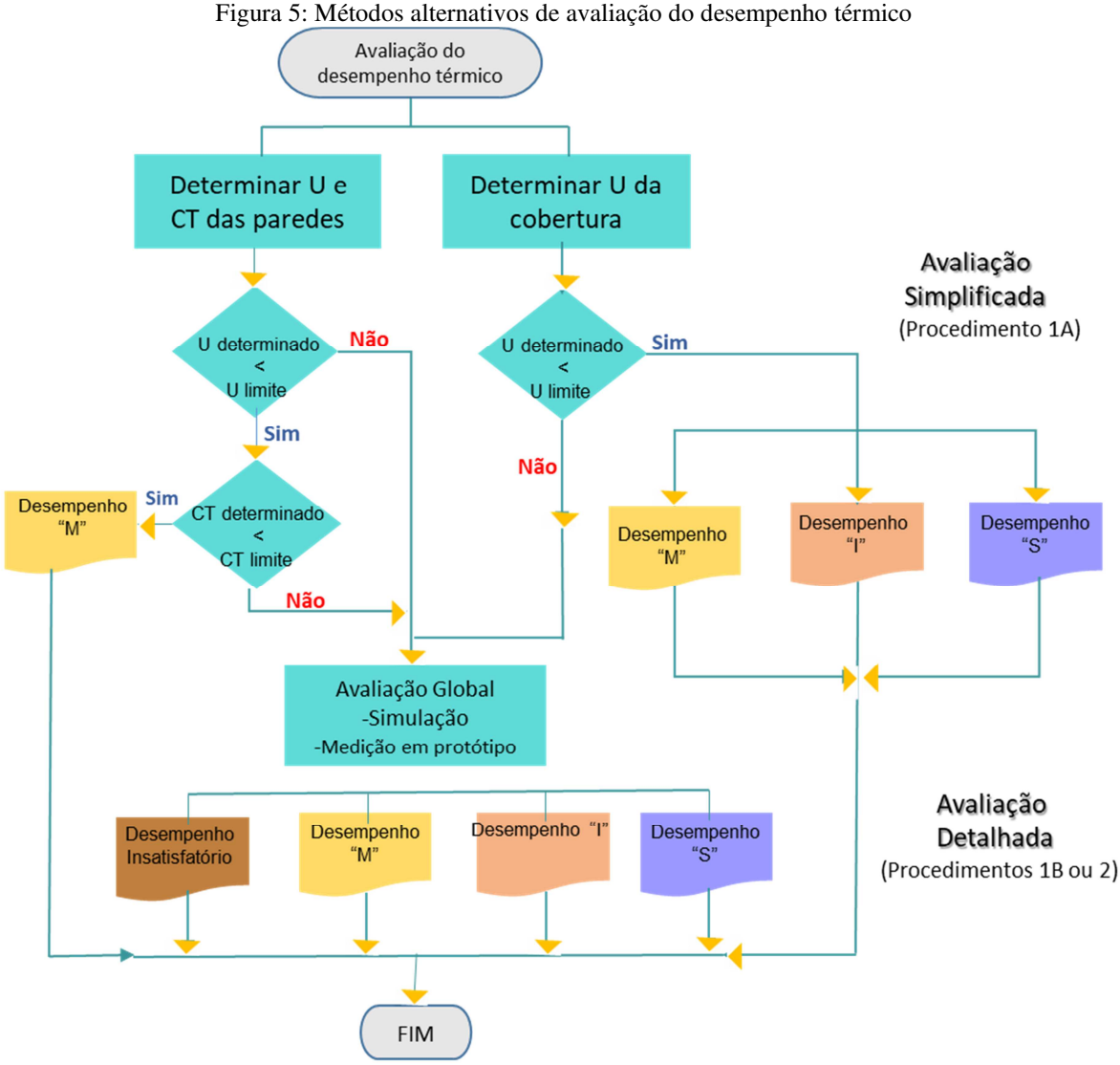
Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 5	**Zonas 6 a 8**
Mínimo	Ti,mín. ≥ (Te,mín. +3ºC)	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
Intermediário	Ti,mín. ≥ (Te,mín. +5ºC)	
Superior	Ti,mín. ≥ (Te,mín. +7ºC)	
Ti,mín.- É o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius. Te,mín.- É o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. Nota - Zonas bioclimáticas de acordo com a NBR 15220-3.		

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

Todas as etapas e estudos realizados precisam ser descritos e caracterizados no relatório de desempenho térmico e, se necessário, acrescentar alguma informação para o usuário ter conhecimento sobre o adequado funcionamento e durabilidade no Manual de Uso, Operação e Manutenção da Edificação (CBIC, 2013). Por exemplo, se durante a simulação computacional de um sistema for necessário adotar o parâmetro de 50% de sombreamento nas janelas para atender ao desempenho térmico mínimo, esse parâmetro deverá ser divulgado no manual para o conhecimento dos futuros proprietários, favorecendo a utilização da habitação.

Além desses dois procedimentos normativos, existe outro de caráter informativo, que não será estudado nesse trabalho, denominado medição *in loco,* procedimento (2). Esse terceiro procedimento conta com verificações no local da edificação ou em protótipos representativos da edificação real, podendo apresentar alguns valores diferentes e irreais devido às interferências climáticas locais que podem acontecer durante a medição. A Figura 5 mostra um fluxo de critérios para a escolha dos procedimentos para avaliação do desempenho térmico (CBIC, 2013).

Figura 5: Métodos alternativos de avaliação do desempenho térmico



Fonte: CBIC, 2013.

Atualmente, alguns pesquisadores têm criticado as diversas possibilidades que a norma oferece para conseguir atender ao desempenho térmico mínimo, pois acreditam que fica impreciso o resultado, facilitando o processo de análise, porém dificultando o avanço na melhoria do desempenho das edificações (CBIC Brasil, 2018a). Entretanto, mesmo que existam essas críticas pertinentes, atualmente, o país dispõe desses parâmetros, que embora não apresentem o cenário ideal, contemplam o progresso na área ao se preocupar e elaborar meios de abordar os desempenhos das edificações, visando o atendimento à habitabilidade, segurança e sustentabilidade (CHVATAL, 2014).

2.3.3 Método Simplificado X Método de Simulação

Alguns estudos, realizados por Brito *et al.* (2012), Marques e Chvatal (2013) e Chvatal (2014), compararam os dois métodos utilizados pela Norma de Desempenho, o método

simplificado, através de cálculos prescritivos, e o método de simulação computacional, e foram encontradas algumas divergências entre os resultados dos mesmos.

Brito *et al.* (2012, p.3) fizeram críticas ao método simplificado, achando-o limitado "pelo fato do método simplificado não considerar o projeto arquitetônico, mas apenas as propriedades térmicas representativas do sistema construtivo, ...", principalmente na Zona Bioclimática 8, considerada a mais quente. Essas limitações contribuem para que sistemas utilizados nas envoltórias sejam aprovados sem o desempenho térmico mínimo, pois são avaliados apenas pela opacidade das superfícies das envoltórias e, na realidade, há todo um conjunto arquitetônico a ser analisado.

O estudo contou com a análise de 21 sistemas diferentes, conjugando 7 tipologias de paredes e 3 de coberturas. Esses sistemas foram aplicados em uma mesma residência de dois pavimentos e foi analisado o dormitório do último pavimento com influência da cobertura, sendo considerado o ambiente mais crítico em termos de exposição solar. Acredita-se que o programa utilizado no estudo foi o *EnergyPlus*®, pois embora não estivesse detalhado no corpo do texto, encontrava-se como referência do trabalho (BRITO *et al.*, 2012).

Os resultados do estudo de Brito *et al.* (2012) mostraram que 7 sistemas conjugados passariam no critério mínimo do método simplificado, porém não no critério do método de simulação computacional (Quadro 10). Esse fato evidencia a relevância do método de simulação, por ser um "método detalhado", como o próprio trabalho denomina (possivelmente, esse termo se deu pelo fato da simulação apresentar as características da edificação em geral, com detalhes dos materiais, aberturas, posição solar, entre outros) (BRITO *et al.*, 2012).

Marques e Chvatal (2013) também avaliaram os dois métodos normativos adotados pela Norma de Desempenho, a partir de um estudo do desempenho térmico de uma casa unifamiliar térrea de baixa renda. Para as autoras, o método simplificado pode facilitar a análise dos padrões construtivos mais simples, facilitando o processo, visto que a simulação exige maior tempo e também maior domínio das ferramentas e programas computacionais. Entretanto, precisa haver concordância entre os dois métodos para que exista confiabilidade nos resultados encontrados de ambos os métodos.

Quadro 10: Resultados do nível de desempenho térmico obtido pela edificação, por sistema construtivo, de acordo com os métodos simplificado e detalhado de avaliação de desempenho térmico

Sistema	Critérios do método simplificado	Critérios do método detalhado
A	Não atende	Não atende
B	Não atende	Não atende
C	Não atende	Não atende
D	Não atende	Não atende
E	Não atende	Não atende
F	Não atende	Não atende
G	Não atende	Não atende
H	Mínimo	Não atende
I	Mínimo	Não atende
J	Mínimo	Não atende
K	Mínimo	Não atende
L	Não atende	Não atende
M	Não atende	Mínimo
N	Não atende	Mínimo
O	Mínimo	Não atende
P	Mínimo	Mínimo
Q	Mínimo	Mínimo
R	Mínimo	Não atende
S	Não atende	Não atende
T	Não atende	Mínimo
U	Não atende	Mínimo

Fonte: BRITO *et al.*, 2012.

Marques e Chvatal (2013) utilizaram o programa *EnergyPlus*® para simulação computacional e encontraram divergências dos resultados obtidos entre os dois métodos. Dentre as 15 tipologias construtivas adotadas, 3 dessas passaram como desempenho térmico mínimo no método simplificado, porém durante o verão, na simulação computacional, o desempenho não foi atendido, e outras dessas foram consideradas nível intermediário, no método simplificado, e na simulação como mínimo (Quadro 11). Para as autoras avaliar uma edificação residencial apenas com o método simplificado é uma análise falha, pois não engloba todo o conjunto de elementos e fatores que influenciam o desempenho térmico em uma construção.

Outro ponto de destaque foi que essas divergências foram encontradas em uma residência sem complexidade arquitetônica, ou seja, sem nenhum detalhamento maior com adição de elementos na composição da fachada que poderiam contribuir mais ainda para a diferença dos resultados do desempenho térmico. Por exemplo, inserir uma maior área com vidros na fachada ou colocar alguma proteção externa poderia alterar mais ainda os resultados encontrados (MARQUES; CHVATAL, 2013).

Quadro 11: Atendimento aos métodos simplificado e de simulação de acordo com a NBR 15575/2013

	Avaliação através de procedimento simplificado		**Avaliação através de procedimento de simulação computacional**	
Propriedades térmicas das envoltórias Paredes e Telhado (U, α)	**Desempenho**		**Desempenho**	
	Paredes[1]	**Telhados**	**Inverno**	**Verão**
(a) W1, α_w1 + R2, α_r1 (3.7, 0.3) + (1.61, 0.3)	M	M	M	M
(b) W2, α_w1 + R2, α_r1 (2.4, 0.3) + (1.61, 0.3)	M	M	M	M
(c) W3, α_w1 + R2, α_r1 (1.85, 0.3) + (1.61, 0.3)	M	M	M	I
(d) W1, α_w2 + R2, α_r1 (3.7, 0.56) + (1.61, 0.3)	M	M	M	NC
(e) W2, α_w2 + R2, α_r1 (2.4, 0.56) + (1.61, 0.3)	M	M	M	M
(f) W3, α_w2 + R2, α_r1 (1.85, 0.56) + (1.61, 0.3)	M	M	M	M
(g) W1, α_w3 + R2, α_r1 (3.7, 0.72) + (1.61, 0.3)	NC	M	M	NC
(h) W2, α_w3 + R2, α_r1 (2.4, 0.72) + (1.61, 0.3)	M	M	M	NC
(i) W3, α_w3 + R2, α_r1 (1.85, 0.72) + (1.61, 0.3)	M	M	M	M
(j) W2, α_w1 + R1, α_r1 (2.4, 0.3) + (2.3, 0.3)	M	M	M	M
(k) W2, α_w1 + R2, α_r1 (2.4, 0.3) + (1.61, 0.3)	M	M	M	M
(l) W2, α_w1 + R3, α_r1 (2.4, 0.3) + (1.34, 0.3)	M	I	M	M
(m) W2, α_w1 + R1, α_r2 (2.4, 0.3) + (2.3, 0.9)	M	NC	M	NC
(n) W2, α_w1 + R2, α_r2 (2.4, 0.3) + (1.61, 0.9)	M	NC	M	M
(o) W2, α_w1 + R3, α_r2 (2.4, 0.3) + (1.34, 0.9)	M	M	M	NC

[1] De acordo com o padrão, no procedimento simplificado, as paredes são classificadas apenas com o desempenho mínimo ou simplesmente não cumprem (NC).

Desempenho mínimo não alcançado pelo método simplificado ou método de simulação.

Desempenho pelo método simplificado superior ao desempenho através de simulação.

Fonte: Adaptado de MARQUES; CHVATAL, 2013.

Além da mesma análise entre os métodos já realizada no trabalho de Brito *et al.* (2012), Marques e Chvatal (2013) alegaram que o método de simulação também tem inconsistências que precisam ser trabalhadas para o avanço do desempenho térmico no país. Entre as críticas em relação ao método de simulação, têm-se: à falta de arquivos e dados climáticos de algumas cidades brasileiras; à ausência de alguns aspectos de cargas térmicas

internas como pessoas, equipamentos e iluminação que influenciam no desempenho térmico e não são considerados na simulação (fazem o comparativo com o RTQ-R que utiliza cargas térmicas ao avaliar a eficiência energética em edificações residenciais); e à carência de estratégias passivas durante a simulação.

Entretanto, as autoras consideram a Norma de Desempenho um grande avanço na cadeia da indústria da construção civil que deve ser aprimorada para melhor qualidade das edificações do país.

Em outro trabalho de Chvatal (2014), foram realizados diversos estudos através do método simplificado e da simulação computacional para obter o nível de desempenho das paredes e coberturas de uma habitação de interesse social em três cidades com zonas bioclimáticas brasileiras diferentes, segundo a norma 15220-3 (zona 1, mais fria, zona 8, mais quente e zona 3, intermediária). A escolha dessa tipologia de edificação se deu devido a sua simplicidade e, possivelmente, não apresentar interferências entre os dois métodos adotados. O programa utilizado na simulação foi o *EnergyPlus*®, versão 7.1.

As conclusões dos estudos de Chvatal (2014) foram as mesmas das anteriores, onde o método simplificado pode gerar resultados de desempenho equivocados e, embora mais simples de se realizar em relação à simulação computacional, esse método deveria ser representativo e deixar claro as suas limitações. Em relação à simulação computacional, um dado importante observado no estudo, foi que há várias críticas sobre simular apenas os dias típicos de inverno e verão. Entretanto, Chvatal (2014) fez simulações anuais e o resultado encontrado foi que os comportamentos dos gráficos foram similares, mesmo que o estudo anual tivesse melhor representatividade do desempenho da edificação.

Embora a norma julgue não necessária a verificação pela simulação computacional do sistema quando é atendido pelo método simplificado, estudos mostram que há necessidade de se realizar o método de simulação computacional para maior confiabilidade nos resultados obtidos.

Assim, segundo Gonçalves *et al.* (2015, p. 298), para verificar o desempenho térmico e energético das edificações, a simulação computacional possui vantagem em relação aos métodos simplificados, pois há a "possibilidade da avaliação termodinâmica, que considera variações do clima externo, bem como do padrão de ocupação e, ainda, os efeitos da inércia térmica da construção ao longo do tempo". Além disso, os autores ressaltam a eficiência da

simulação durante a etapa inicial de desenvolvimento do projeto, na definição do partido arquitetônico, pois em etapas finais resulta apenas em medidas corretivas e restritas.

Independente do método a escolher, simplificado ou simulação computacional, para determinar o desempenho térmico é necessário conhecer as propriedades e características termofísicas dos materiais que compõem os sistemas adotados nas edificações. Essas propriedades e características estão descritas a seguir.

2.4 Propriedades e características termofísicas dos materiais

As propriedades e características térmicas e físicas dos materiais constituintes da edificação interferem na resposta térmica do conjunto. Essas características são adquiridas através de ensaios em laboratórios com métodos normativos ou o próprio fornecedor pode oferecer as características típicas de seus materiais. Além disso, a NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) dispõe de algumas dessas propriedades e características térmicas que serviram para o desenvolvimento do trabalho (Quadros 12 e 13). Os Quadros 12 e 13 mostram apenas os materiais que foram utilizados para o desenvolvimento da dissertação, portanto, a referência completa encontra-se na NBR 15220-2 (ABNT, 2005b).

O Quadro 12 trata da absortância para radiação solar (α), que representa a taxa obtida da divisão do valor da radiação solar absorvida sobre a incidente, ou seja, quanto maior esse valor maior a absorção do material, e emissividade (ε), que é a taxa adquirida através da divisão da taxa da radiação emitida por uma superfície sobre a taxa emitida por um corpo negro, segundo a NBR 15220-1 (ABNT, 2005a).

São perceptíveis que cores mais "claras" apresentam uma absortância menor que as cores "escuras", logo elas absorvem menos a radiação solar incidente, favorecendo os ambientes que precisam de um desempenho térmico interno melhor. Por exemplo, em uma fachada exposta ao sol durante a maior parte do dia, em um clima quente, é essencial a utilização de materiais mais "leves e refletores".

Quadro 12: Absortância (α) para radiação solar e emissividade (ε) para radiações a temperaturas comuns

Tipo de superfície	α	ε
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Vidro incolor	0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido	0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado	0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura:		
Branca	0,20	0,90
Amarela	0,30	0,90

Verde clara	0,40	0,90
"Alumínio"	0,40	0,50
Verde escura	0,70	0,90
Vermelha	0,74	0,90
Preta	0,97	0,90

Fonte: Adaptado de NBR 15220-2 (ABNT, 2005b).

O Quadro 13 apresenta a densidade de massa aparente (ρ), a condutividade térmica (λ) e o calor específico (c) de materiais. A densidade de massa aparente é o resultado da massa pelo volume aparente de um material e a condutividade térmica é uma propriedade física do material que verifica quanto o material conduz de fluxo de calor (energia térmica), quando em contato com uma fonte de calor. Já o calor específico é o resultado da capacidade térmica (CT) pela massa do material, ou seja, quantidade de calor necessária que cada parte (kg, g, ...) da massa do material precisa para variar a temperatura (ABNT, 2005a).

Quadro 13: Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c)

Material	**ρ (kg/m³)**	**λ (W/(m.K))**	**c (kJ/(kg.K))**
Argamassas			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
Cerâmicas			
tijolos e telhas de barro	1000-1300 1300-1600 1600-1800 1800-2000	0,70 0,90 1,00 1,05	0,92 0,92 0,92 0,92
Fibrocimento			
placas de fibrocimento	1800-2200 1400-1800	0,95 0,65	0,84 0,84
Concreto (com agregado de pedra)			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
Gesso			
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
Isolantes térmicos			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno extrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
Pedras (incluindo junta de assentamento)			
granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcários/mármore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600 1900-2300 1500-1900 < 1500	2,40 1,40 1,00 0,85	0,84 0,84 0,84 0,84
Vidro			
vidro comum	2500	1,00	0,84

Fonte: Adaptado de NBR 15220-2 (ABNT, 2005b).

A NBR 15220–3 (2005c) mostra também as propriedades térmicas adotadas para determinar a transmitância térmica (U) e a capacidade térmica (CT) de alguns sistemas de paredes e de coberturas mais convencionais utilizados nas edificações (Quadros 14 e 15).

Quadro 14: Propriedades térmicas dos materiais – cálculo para algumas paredes

Material	**ρ (kg/m³)**	**λ (W/(m.K))**	**c (kJ/(kg.K))**
cerâmica	1600	0,90	0,92
argamassa de emboço ou assentamento	2000	1,15	1,00
concreto	2400	1,75	1,00

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005c).

Quadro 15: Propriedades térmicas dos materiais – cálculo para algumas coberturas

Material	**ρ (kg/m³)**	**λ (W/(m.K))**	**c (kJ/(kg.K))**
cerâmica	2000	1,05	0,92
fibrocimento	1900	0,95	0,84
madeira	600	0,14	2,30
concreto	2200	1,75	1,00
lâmina de alumínio polido (ε<0,2)	2700	230	0,88
Lã de vidro	50	0,045	0,70

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005c).

Além das normas citadas, existem também relatórios internos desenvolvidos pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) (Ordenes *et al.*, 2003; Weber *et al.,* 2017) que dispõem de bibliotecas com as propriedades de alguns materiais utilizados em paredes, coberturas, pisos etc. (Anexo A) para serem utilizados em programas de simulação como o *VisualDOE®* e *EnergyPlus®*. Essas propriedades serviram de referência na presente pesquisa para o desenvolvimento dos métodos simplificados e de simulação computacional, além dos dados obtidos da NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) e 15220-3 (ABNT, 2005c). Igualmente aos quadros com as propriedades encontradas na norma, foram deixadas apenas as características dos materiais que foram utilizados no trabalho, como referência de estudo. A diversidade do material do relatório do LabEEE é interessante para adicionar informações às obtidas na NBR 15220 e, assim, criar um maior *checklist* de propriedades termofísicas dos materiais.

3 MÉTODO DA PESQUISA

3.1 Caracterização da pesquisa e do objeto de estudo

A pesquisa foi caracterizada como exploratória, pois apresenta "[...] 1. levantamento bibliográfico; 2. entrevistas com pessoas que tiveram experiência prática com o assunto; e 3. análise de exemplos que estimulem a compreensão", segundo Selltiz *et al.* (1967) *apud* Gil (2017, p.26).

O objeto de estudo foi um padrão característico dos sistemas construtivos mais utilizados nas envoltórias, fachada e cobertura, em edificações residenciais multipiso em Aracaju/SE. Esse padrão foi identificado durante as entrevistas nas empresas construtoras e/ou incorporadoras locais e aplicado em um estudo de caso de uma edificação residencial multipiso em Aracaju/SE para análise do desempenho térmico de sua envoltória.

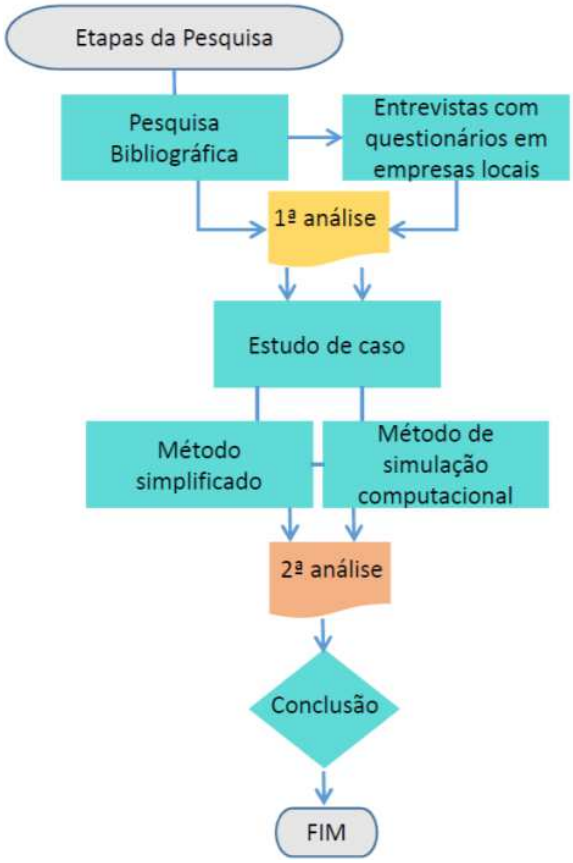
O estudo de caso foi essencial para o conhecimento a partir de investigação de algum fato dentro de um contexto real e atualizado, afinal "[...] os propósitos do estudo de caso não são os de proporcionar o conhecimento preciso das características de uma população, mas sim o de proporcionar uma visão global do problema ou de identificar possíveis fatores que o influenciam ou são por ele influenciados" (GIL, 2017, p.34 e 35). Por exemplo, as edificações residenciais multipiso que não atendem a um desempenho térmico mínimo influenciam o conforto e a qualidade dos usuários, além de interferirem na questão de eficiência energética do conjunto.

O delineamento da pesquisa foi conduzido por métodos qualitativos e quantitativos. O método qualitativo baseou-se na realização da revisão bibliográfica, da coleta de dados, a partir da entrevista com questionário, bem como da compreensão e interpretação dos resultados. Já o método quantitativo, complementar ao método qualitativo, procedeu-se a partir dos resultados de dados numéricos do questionário, evidenciando a característica do grupo para análise do padrão do sistema construtivo das envoltórias, além dos resultados obtidos do estudo simplificado e de simulação computacional. Esses resultados foram descritos através de planilhas que geraram quadros e gráficos. Por fim, ambos os métodos favoreceram a compreensão e a interpretação dos resultados finais, comparando-os com os parâmetros normativos.

3.2 Etapas da pesquisa

A pesquisa foi realizada em quatro etapas: pesquisa bibliográfica sobre o tema; entrevistas com questionários em empresas locais; estudo de caso do desempenho térmico de uma edificação residencial multipiso; e análise e discussão dos resultados. A figura 6 mostra o fluxograma das etapas metodológicas.

Figura 6: Fluxograma das etapas metodológicas



3.2.1 Pesquisa bibliográfica

A primeira etapa consistiu em uma revisão de literatura sobre o assunto para conhecimento e delineamento do mesmo, com foco no desempenho térmico e destaque nas envoltórias das edificações. Essa fase da pesquisa contou também com o estudo das normas envolvidas, métodos de cálculos e do *software Energy Plus*®, além do desenvolvimento de um *checklist* com os dados térmicos necessários para o estudo simplificado e de simulação computacional.

3.2.2 Entrevistas em empresas locais

Nessa etapa foi desenvolvido um questionário (Apêndice A) e foram realizadas entrevistas com incorporadoras e/ou construtoras locais para conhecer os sistemas

construtivos utilizados nas envoltórias e verificar a atuação e a preocupação das empresas quanto ao desempenho térmico de suas construções residenciais multipiso.

A entrevista foi realizada em uma amostragem de 22 empresas (empresas denominadas de “A” a “V”), representando aproximadamente 85% de construtoras locais que atuam com construções de edificações residenciais multipiso na capital. Foi utilizado um questionário impresso com 11 perguntas, possuindo perguntas fechadas (múltipla escolha) e abertas, e o envolvimento do pesquisador foi do tipo clássico, ou seja, não teve envolvimento com o objeto de estudo. O questionário foi dividido em duas partes, a primeira referente ao projeto e à obra, com 4 questões fechadas e 2 abertas, e a segunda parte referente à norma com 4 questões mistas e 1 aberta, totalizando o número de perguntas.

Os critérios de escolha da amostragem das entrevistas foram as empresas que trabalharam com empreendimentos residenciais multipiso com atuação na cidade de Aracaju/SE, considerando a quantidade de construções residenciais durante o período de 2010 a 2018, assim, foram excluídas as empresas que apresentaram apenas um empreendimento na capital. Além desse critério, teve a facilidade de acesso prioritariamente. Os entrevistados das empresas foram engenheiros civis ou arquitetos que participam do setor de projetos e/ou incorporação ou engenheiros civis de execução de obras.

O processamento de dados coletados foi através de planilhas eletrônicas, desenvolvidas no programa *Excel*® para organização dos mesmos.

3.2.3 Estudo de caso

A terceira etapa consistiu no estudo de caso a partir da consolidação das informações coletadas na etapa da entrevista em empresas locais. Como na cidade de Aracaju/SE não existe um padrão de sistema construtivo e detalhamento executivo entre as empresas construtoras, adotou-se o maior percentual de materiais utilizados, estabelecendo um “padrão” de acabamento nas fachadas e coberturas. Assim, o estudo de caso foi representativo para caracterização do desempenho térmico das edificações residenciais multipiso da capital sergipana, utilizando os dados da empresa B, que represou a maioria das empresas entrevistadas. Esse padrão de acabamentos foi aplicado sobre um empreendimento residencial multipiso de Aracaju/SE, pertencente à mesma construtora escolhida entre as empresas entrevistadas.

Os critérios de escolha da construtora B foram devido a 4 pontos: os materiais utilizados na envoltória representaram o maior percentual de acabamentos utilizados entre as

empresas entrevistadas, estabelecendo um "padrão"; facilidade de obtenção dos dados reais de especificação do produto e da execução da obra; elevado nível de detalhamento nas informações; e disponibilidade dos projetos de um empreendimento residencial multifamiliar vertical com informações sobre o dimensionamento dos ambientes, alturas, áreas, esquadrias da fachada. As informações foram descritas pela equipe de projetos/incorporação, de orçamento (composição dos sistemas) e de obra da empresa.

O critério para escolha da edificação foi de um empreendimento local que seria utilizado pela empresa, mas devido ao atual estágio da construção civil no país, a empresa optou em adiar o lançamento, disponibilizando os projetos e especificações para o estudo de caso do presente trabalho, com o objetivo de analisar o desempenho térmico de um dos principais sistemas utilizados nas envoltórias das habitações residenciais multipiso na cidade.

O estudo foi realizado a partir de dois procedimentos: o método simplificado e o da simulação computacional. Para realizar os dois procedimentos foi necessário obter os dados termofisícos dos materiais existentes na literatura e em normativas.

Os resultados de ambos os métodos foram comparados com os dados levantados e foi realizada uma análise final sobre o desempenho térmico de um padrão típico de edificações residenciais multipiso na cidade de Aracaju/SE.

3.2.3.1 Método simplificado

O método simplificado (normativo), estabelecido pela ABNT NBR 15575/2013, apresenta os procedimentos de cálculo encontrados na NBR 15220-2 (2005b), com as fórmulas para determinar a resistência térmica[9], transmitância térmica[10], capacidade térmica[11], atraso térmico[12], entre outros. Como o local do estudo encontra-se na zona bioclimática 8, analisou-se apenas o único parâmetro abordado nessa região, a transmitância térmica (U).

A princípio é necessário determinar a resistência térmica (R) para depois encontrar a transmitância térmica (U), pois essa é o inverso da resistência térmica. Para determinar a resistência térmica de um componente de camadas homogêneas de superfície a superfície é

9 Quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário (R) – (m².K)/W (ABNT, 2005a). Ou seja, é uma característica térmica que mede a resistência da transmissão de calor do material, elemento ou componente construtivo.

10 Inverso da resistência térmica total (U) – W/(m².K) (ABNT, 2005a).

11 Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema (C) – J/K (ABNT, 2005a).

12 Tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor (φ) – h (ABNT, 2005a).

utilizada a Equação 1, apresentando a resistência térmica de todos os componentes de uma camada homogênea perpendicular ao fluxo de calor. Porém, antes de determinar a resistência total é necessário definir a resistência de cada componente dessa camada, que é dada na Equação 2, fórmula básica da resistência térmica (ABNT, 2005b).

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \ldots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \ldots + R_{arn} \quad (1)$$

Sendo:

$R_{t1} + R_{t2} + \ldots + R_{tn}$ – resistência térmica das n camadas homogêneas, determinadas pela Equação 2.

$R_{ar1} + R_{ar2} + \ldots + R_{arn}$ – resistência térmica das n câmaras de ar, determinadas pelo Quadro 16.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (2)$$

Sendo:

R – resistência térmica.

e – espessura.

λ – condutividade térmica[13].

O Quadro 16 mostra a resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, caso existam na camada, onde a emissividade e a espessura da câmara de ar influenciam.

Quadro 16: Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica R_w m².K/W		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇨	⇧	⇩
Superfície de alta emissividade ε>0,8	1,0 ≤ e ≤ 2,0	0,14	0,13	0,15
	2,0 ≤ e ≤ 5,0	0,16	0,14	0,18
	e > 5,0	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade ε<0,2	1,0 ≤ e ≤ 2,0	0,29	0,23	0,29
	2,0 < e ≤ 5,0	0,37	0,25	0,43
	e > 5,0	0,34	0,27	0,61
NOTAS 1 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por este quadro.				

Fonte: Adaptado de NBR 15220-2 (ABNT, 2005b)

Como o trabalho apresenta um caso de componentes com camadas homogêneas e não homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, a expressão da resistência térmica será conforme a equação 3, de superfície a superfície, e conforme a equação 4, de ambiente a

13 Propriedade física de um material homogêneo e isótropo, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1W/m², quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro (λ) – W/(m.K).

ambiente. Ou seja, essa última equação determina a resistência térmica total, considerando as resistências térmicas superficiais interna e externa, que dependem da direção do fluxo de calor e estão representadas no Quadro 17 (ABNT, 2005b).

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \ldots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \ldots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (3)$$

Sendo:

R_a, R_b, ..., R_n – resistências térmicas de superfície à superfície para cada seção (a, b, ..., n), determinada pela Equação 1.

A_a, A_b, ..., A_n – áreas de cada seção.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (4)$$

Sendo:

R_t – resistências térmicas de superfície à superfície, determinada pela Equação 3.

R_{se} e R_{si} – resistências superficiais externa e interna, respectivamente (Quadro 17).

Quadro 17: Resistência térmica superficial interna e externa

R_{si} (m².K)/W			R_{se} (m².K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇨ ▌	▬ ⇧	⇩ ▬	⇨ ▌	▬ ⇧	⇩ ▬
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: ABNT, 2005b.

Assim, após determinar a resistência térmica do componente, pode-se verificar a transmitância térmica do mesmo, a partir da equação 5. (ABNT, 2005b).

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (5)$$

Sendo:

U – Transmitância térmica (inverso da resistência térmica total).

R_T – resistência térmica total, determinada pela Equação 4.

Além dos materiais da composição da envoltória, outros elementos foram estudados, como as aberturas das janelas e das portas voltadas para a fachada em ambientes de uso prolongado, como os dormitórios e as salas de estar. Para esses elementos arquitetônicos foram diagnosticadas as áreas mínimas de ventilação a partir da Equação 6, conforme a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

$$A = 100\ x \left(\frac{A_a}{A_p}\right) (\%) \quad (6)$$

Sendo:

A_a – a área efetiva de aberturas de ventilação do ambiente, sendo que para o cálculo desta área são consideradas as aberturas que permitam a livre circulação do ar, devendo ser descontadas as áreas de perfis, vidros e de qualquer outro obstáculo; nesta área não são computadas as áreas de portas internas. No caso de cômodos dotados de portas-balcão ou semelhantes, na fachada da edificação, toda a área aberta resultante do deslocamento da folha móvel da porta é computada.

A_p – a área de piso do ambiente.

Após os valores determinados, verificaram-se os requisitos normativos encontrados no documento de Divisão de Licenciamento Multiresidencial – DLM – Condomínio Vertical (EMURB, 2011), produzido pela prefeitura local, representada pela Empresa Municipal de Obras e Urbanização (EMURB) de Aracaju/SE. Esses parâmetros locais, dados em fração (Quadro 18), estão de acordo com as áreas mínimas de ventilação determinadas pela NBR 15575/2013. Sendo assim, a norma estabelece que para esses casos quando a localidade apresenta seus próprios parâmetros deve-se respeitar a norma local.

Quadro 18: Ventilação/iluminação mínima dos compartimentos

Compartimentos	**Abertos diretamente para o exterior.**	**Abertos para varandas, terraços ou marquises com largura < 2,00m.**	**Abertos para varandas, terraços ou marquises com largura entre 2,00 e 3,50m**
Utilização prolongada	1/6 da área do piso	1/5 da área do piso	1/4 da área do piso
Utilização transitória	1/8 da área do piso	1/6 da área do piso	1/5 da área do piso
Depósito > que 4,00m²	1/10 da área do piso	1/8 da área do piso	1/7 da área do piso

Fonte: EMURB, 2011.

3.2.3.2 Método de simulação computacional

Os parâmetros empregados para simulação computacional foram baseados na NBR 15575/2013. Utilizou-se para a simulação o *software Energy Plus*® v.8.9.0, recomendado pela norma, juntamente com o *plug-in Euclid*® v.0.9.3 para a modelagem da geometria da edificação no *Sketchup*® 2016. Incluiu também o auxílio do programa *Excel*® 2010 para a organização e a análise dos resultados gerados pelo programa de simulação.

Em relação ao clima e à temperatura local, a cidade de Aracaju/SE apresenta um clima quente e úmido e, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), está inserida na zona bioclimática 8, com latitude de 10º92'S, longitude de 37º05'W e altitude de 5 m. A capital sergipana possui, como dados de dias típicos de verão, uma temperatura máxima diária de 30,9ºC, amplitude diária de temperatura de 5,4ºC, temperatura de bulbo úmido de 24,9ºC,

radiação solar de 6277 Wh/m² e nebulosidade 6. No inverno, a temperatura mínima diária é de 18,7ºC, amplitude diária de temperatura de 5,1ºC, temperatura de bulbo úmido de 21,5ºC, radiação solar de 5348 Wh/m² e nebulosidade 6 (ABNT, 2013a).

Durante a simulação com o *software Energy Plus*® foi utilizado o arquivo climático de Aracaju/SE do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), atualização 2018, disponível no endereço eletrônico do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE)[14]. Comparando alguns dados da norma com os desse arquivo, verifica-se que a diferença é insignificante, por exemplo, a latitude é de 10º91'S e longitude 37º07'W. Entretanto, existem outros dados climáticos relevantes para simulação que através de um estudo comparativo realizado por Scheller *et al.* (2015) verificou-se algumas imprecisões nos arquivos climáticos analisados, TRY, SWERA e INMET. Nesse estudo levantou-se até a necessidade de corrigir, por exemplo, alguns parâmetros dos arquivos climáticos INMET 2012. Atualmente, já existe a atualização do arquivo INMET 2018, que sofreu algumas correções e é o único que possui o arquivo climático para a cidade de Aracaju/SE.

Para simulação computacional foi realizada a simulação durante todo o ano (horas, dias e meses) e não apenas nos dias típicos de verão e inverno (no caso do presente estudo o foco é o verão devido ao clima local), conforme pede a NBR 15575. Esse foi único ponto divergente, em relação à norma, utilizado no presente trabalho, pois, dessa forma, ampliou-se a análise das interferências da envoltória da edificação durante os dias mais crítico dos meses durante todo o ano.

Foram realizadas oito simulações computacionais para a análise do sistema empregado nas envoltórias das edificações residenciais multipiso na cidade de Aracaju/SE. As características e os objetivos das simulações estão no Quadro 19.

As simulações A, B e C verificaram a questão ao atendimento a Norma de Desempenho no quesito do desempenho térmico. Entretanto, para responder ao objetivo específico da importância da envoltória no desempenho térmico, além de estudar e compreender o que poderia ser otimizado, foram alteradas algumas características e realizadas as simulações complementares para uma análise mais detalhada e domínio sobre o assunto.

[14] http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018

Quadro 19: Simulações computacionais

Simulação Computacional	Características	Objetivo
A	Unidade habitacional mais crítica com o padrão do sistema das envoltórias determinado e 1ren/h	Verificar se o sistema padrão das envoltórias atende ao desempenho térmico mínimo, determinado pela NBR 15575/2013
B	Unidade habitacional mais crítica com o padrão do sistema das envoltórias determinado e 5ren/h	Verificar se o sistema padrão das envoltórias atende ao desempenho térmico mínimo, aumentando a renovação de ar como sugere a NBR 15575/2013
C	Unidade habitacional mais crítica com o padrão do sistema das envoltórias determinado, 5ren/h e 50% de sombreamento nas esquadrias externas	Verificar se o sistema padrão das envoltórias atende ao desempenho térmico mínimo, aumentando a renovação de ar e acrescentando 50% de sombreamento nas esquadrias externas, como sugere a NBR 15575/2013
D	Unidade habitacional mais crítica com 1ren/h e alterando o padrão do sistema das envoltórias para blocos de 19 cm (9 furos) nas paredes das fachadas	Verificar a contribuição dos materiais que compõem as paredes das fachadas inseridos no partido arquitetônico
E	Unidade habitacional mais crítica com o padrão do sistema das envoltórias determinado, 1ren/h e sem as esquadrias externas	Verificar a contribuição das esquadrias externas no desempenho térmico de uma unidade
F	Unidade habitacional mais crítica com o padrão do sistema das envoltórias determinado, 1ren/h e sem considerar a incidência solar direta na cobertura	Verificar a contribuição da cobertura no desempenho térmico de uma unidade
G	Unidade habitacional mais crítica com o padrão do sistema das envoltórias determinado e 10ren/h	Verificar a contribuição da troca de ar das esquadrias externas no desempenho térmico de uma unidade
H	Unidade habitacional mais crítica com o padrão do sistema das envoltórias determinado e 20ren/h	Verificar a contribuição da troca de ar das esquadrias externas no desempenho térmico de uma unidade

3.2.4 Análise dos resultados

A quarta etapa foi subdividida em duas partes, sendo a primeira com a análise de todo o conteúdo coletado durante o estudo da revisão bibliográfica do tema e dos resultados relacionados às entrevistas nas empresas locais. E a segunda parte contou com os ajustes necessários, o estudo do método simplificado através de cálculos, a modelagem do estudo de caso e a simulação computacional. Após a obtenção dos resultados, esses foram transcritos em planilhas eletrônicas, gráficos e comparados com a literatura e as normativas.

4 RESULTADOS

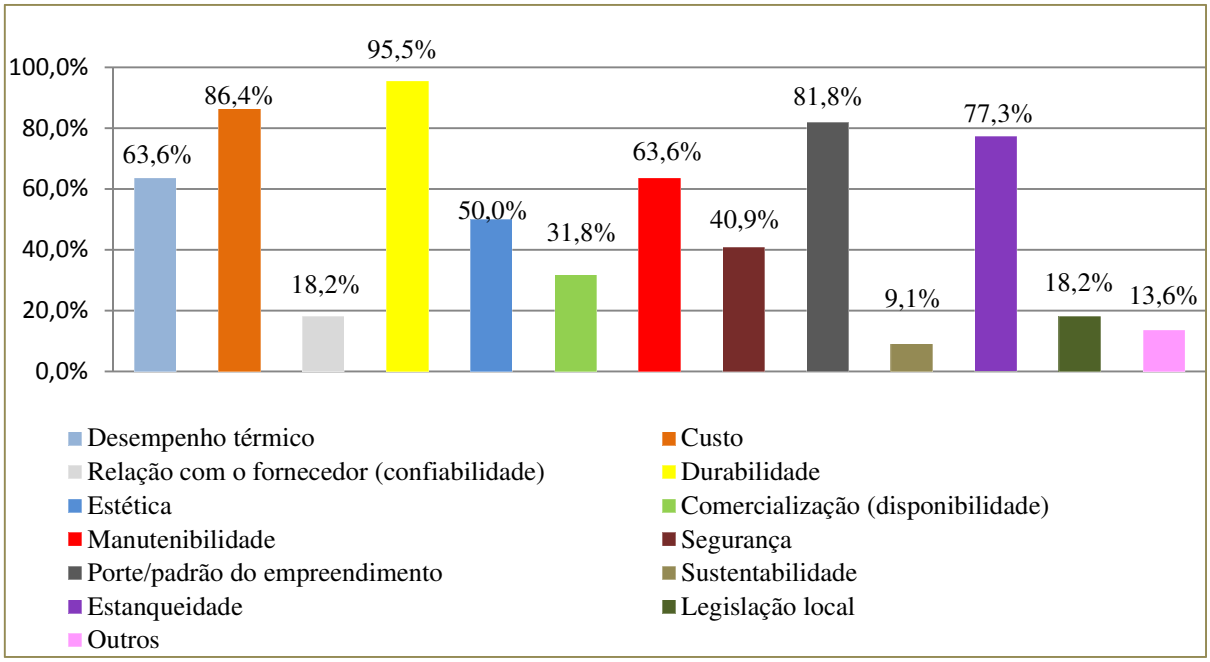
4.1 Resultados das entrevistas nas empresas locais

Foram entrevistados representantes de 22 empresas construtoras e/ou incorporadoras locais (empresas “A” a “V”) para verificar a questão do desempenho térmico das envoltórias dos empreendimentos multipiso, a partir de um questionário com 11 perguntas (Apêndice A).

A primeira questão foi a respeito de quais são os critérios adotados pelas empresas para especificar os materiais da composição da envoltória (fachada e cobertura). Nessa questão, o respondente poderia escolher mais de uma alternativa, logo o somatório do percentual dos itens foi maior que 100%. O Gráfico 1 mostra os resultados obtidos, indicando que a maior preocupação é com a durabilidade (95,5%), seguida pelo custo (86,4%) e pelo porte/padrão do empreendimento (81,8%). Os pontos com menos destaque foram à questão da sustentabilidade (9,1%), outros (13,6%), legislação local (18,2%) e a relação de confiabilidade com o fornecedor (18,2%). No ponto “outros” foram citadas questões de desempenho acústico e de normas da ABNT para fachada e cobertura.

O item sobre desempenho térmico apresentou um percentual de 63,3%, porém foi perceptível, pelos comentários durante a entrevista, que muitos determinavam esse item pensando no atendimento à Norma de Desempenho em geral e não apenas na parte térmica. Embora seja um item com percentual relevante, ainda não é a prioridade das construtoras no processo de especificação dos materiais da envoltória.

Gráfico 1: Critérios adotados para especificar os materiais da composição da envoltória

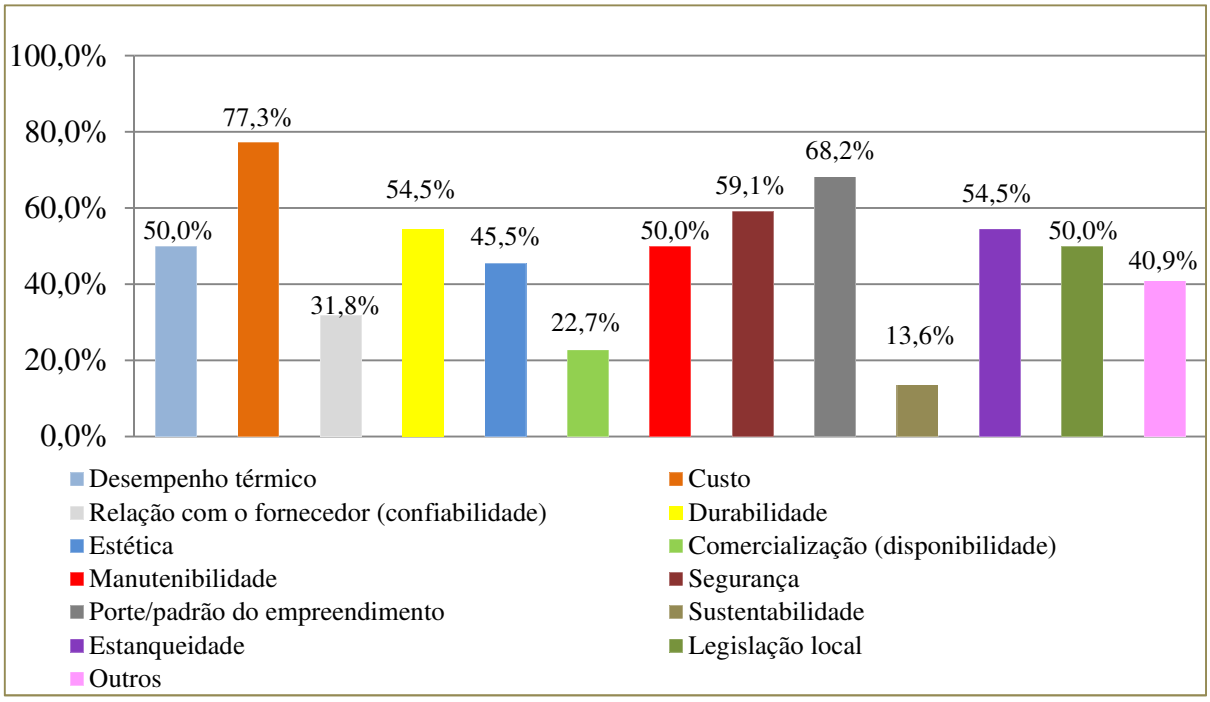


Esses mesmos itens foram apresentados para as respostas da sexta questão que falava sobre os critérios utilizados no dimensionamento e na especificação dos materiais empregados nas esquadrias (aberturas das janelas e portas) das fachadas (Gráfico 2). Os pontos mais críticos evidenciados neste aspecto foram o custo (77,3%), seguido pelo porte/padrão do empreendimento (68,2%) e a segurança (59,1%) que esses elementos arquitetônicos fornecem aos usuários. Outros assuntos de destaque foram a durabilidade (54,5%) e a estanqueidade (54,5%). No item "outros" (40,9%), foram mencionadas as outras normas técnicas da ABNT e, principalmente, o desempenho acústico e lumínico que esses elementos arquitetônicos proporcionam no interior dos apartamentos.

Diante desse questionamento, cinco representantes das construtoras, as empresas E, G, H, O e V, comentaram a necessidade de mudança na escolha de fornecedores para atendimento a Norma de Desempenho. Os fornecedores precisam apresentar documentos comprobatórios sobre a garantia de certificação no atendimento aos requisitos da norma, sendo isso até pré-requisito para órgãos financiadores de empreendimentos voltados para baixa renda, como os inseridos no Programa Minha Casa, Minha Vida.

Se comparar o percentual do desempenho térmico entre a questão do Gráfico 1 (63,3%) com a do gráfico 2 (50,0%), é perceptível que o valor já sofreu depreciação. Logo, a relação de prioridade dos critérios na especificação do dimensionamento e da escolha dos materiais das esquadrias das fachadas também apresentou uma diferença.

Gráfico 2: Critérios adotados para o dimensionamento e especificação dos materiais utilizados nas aberturas de janelas e portas das fachadas



Ainda sobre os critérios essenciais na fase de projetos de uma edificação residencial, a determinação de sua orientação e disposição em relação ao terreno é considerada como etapa crucial no desenvolvimento e planejamento. Assim, na quinta questão foram discutidos quais foram os critérios relevantes adotados pelas empresas, além dos requisitos padrões da prefeitura local, como recuos e afastamentos. O Quadro 20 apresenta as respostas quanto aos critérios, em ordem decrescente, e as respectivas empresas que as adotam.

Quadro 20: Critérios utilizados para orientação da edificação no terreno

Critérios	Empresas
Orientação solar adequada da edificação	A,B,F,G,H,I,J,K,L,N,O,Q, S,U,V
Melhor disposição para comportar mais torres no terreno (aproveitamento do espaço no terreno – área construída) e o máximo de unidades de apartamentos possíveis (viabilidade/estudo de mercado - custo e vendas)	B,C,D,E,M,O,P,R,S,T,V
Melhor ventilação	A,C,I,J,K,N,U
Melhor disposição para comportar mais vagas de garagem	B,E,O
Melhor iluminação	A,C
Sombreamento	L,V
Melhor locação de equipamentos técnicos como estação elevatória e outros	E
Resistência do solo	O
Vista da paisagem dos apartamentos	L
Fluxo de veículos internos e nas entradas das edificações	L
Acústica dos apartamentos em relação a vias externas	L
Privacidade entre as torres e a vizinhança	L
Acessibilidade das torres	O
Maior quantidade de área permeável ao redor da edificação	Q
Porte/padrão do empreendimento	U

O grande destaque para os critérios foi a importância em locar o prédio com uma boa orientação solar, ou seja, evitar que os ambientes de uso prolongando fiquem voltados para a fachada oeste com grande incidência solar durante o poente, ou seja, o ideal é dispor maior quantidade de apartamentos para o nascente, privilegiando os cômodos de uso prolongado. Além disso, tentar projetar o maior comprimento da fachada na melhor direção solar.

Outro ponto relevante, muito discutido nas etapas de planejamento e elaboração de projeto, é a viabilidade do empreendimento perante a quantidade de torres e a quantidade de apartamentos, para melhor aproveitamento do espaço do terreno, favorecendo o custo, a venda e, consequentemente, a rentabilidade do construtor.

A ventilação também foi um critério relevante, pois em um clima quente e úmido, característico da cidade de estudo, é importante sua valorização, tanto que a norma brasileira, NBR 15220, destaca a ventilação cruzada como importante estratégia de condicionamento térmico passivo.

Para as especificações dos materiais da envoltória, as empresas contam com equipes internas de projetos e incorporações aliadas a escritórios de arquitetura, principalmente, e engenharia. Como esses profissionais são responsáveis pela especificação de projeto, capacitação e conhecimento técnico sobre as diretrizes e critérios vigentes, eles desempenham papel essencial para o correto atendimento e melhor aproveitamento. Assim, questionou-se se os envolvidos possuem conhecimento técnico sobre a NBR 15575/2013 com foco no desempenho térmico, 59,1% dos entrevistados das empresas responderam que "sim" e que estão cada vez mais preocupados com esse assunto nos novos empreendimentos. Observou-se que esse universo se referiu não somente ao desempenho térmico, mas também, considerou a preocupação mais abrangente da Norma de Desempenho. Dos nove representantes das empresas que responderam "não", quatro disseram que as empresas estão em treinamento e em adaptação à Norma de Desempenho, já outro contrata consultorias para validação ao atendimento aos requisitos de desempenho térmico, acústico e lumínico. Vale destacar o comentário do representante da empresa H sobre o mercado sergipano e a carência de profissionais com conhecimentos específicos na Norma de Desempenho nos escritórios locais de arquitetura e engenharia.

Na terceira e quarta questões foram abordadas as composições dos sistemas construtivos utilizados nas fachadas e nas coberturas dos empreendimentos residenciais multipiso das empresas. As empresas que adotam mais de um sistema construtivo nos empreendimentos declararam que a escolha da composição estava atrelada ao padrão/porte do empreendimento, ou seja, o público alvo de atendimento e, consequentemente, ao custo da obra e valor final da venda para os clientes.

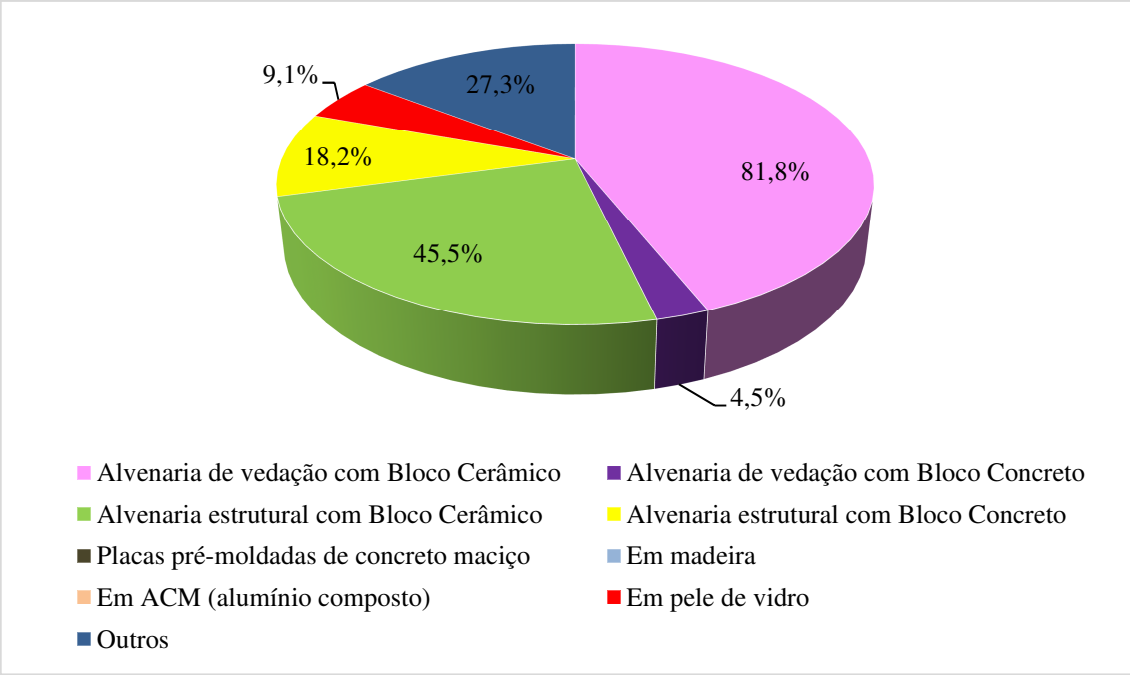
O Gráfico 3 indica os dados obtidos pelo questionamento sobre os sistemas nas fachadas e os resultados apontaram que aproximadamente 82% das empresas utilizam alvenaria de vedação com bloco cerâmico, sendo o mais utilizado no local, seguido pela alvenaria estrutural com bloco cerâmico, que representa 45,5%, e por "outros" com 27,3%. Em relação a "outros", foram exemplificados a fachada ventilada[15] com pedra industrializada tipo *marmoglass* (pó de mármore e vidro) e a parede de concreto moldada no local muito utilizada em padrões econômicos com formas de alumínio reutilizáveis. Essa última é uma inovação tecnológica local e cinco construtoras já estão adotando, pois afirmam que esse

[15] Segundo a revista Téchne (2009) *apud* Carneiro, Figueiredo e Santos (2015), a fachada ventilada é um sistema construtivo que o revestimento fica separado da parede externa, ficando paralelo e um pouco para frente, formando uma câmara de ar ventilada que proporciona mais conforto no interior do edifício, pois evita o uso de condicionadores de ar. Esse sistema foi criado na Europa com o intuito de reduzir o custo de energia para refrigeração e calefação das edificações.

método é econômico, rápido, além de exigir um simples acabamento interno e externo das fachadas, favorecendo a gestão, o ciclo de produção e o custo do empreendimento.

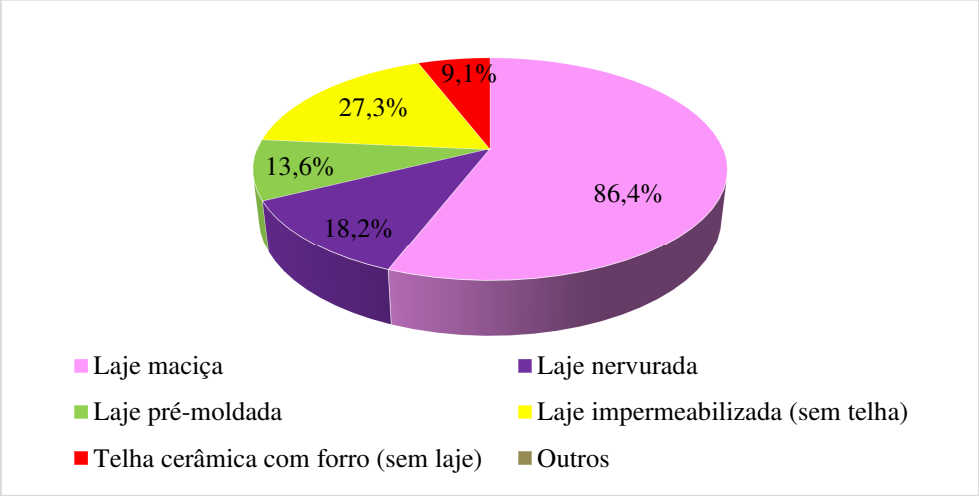
Observou-se que as empresas entrevistadas não empregam as seguintes composições nas fachadas nos empreendimentos residenciais multipiso: placas pré-moldadas de concreto maciço, alumínio composto e madeira.

Gráfico 3: Sistemas construtivos das fachadas utilizados nas construtoras locais



Os sistemas construtivos mais utilizados nas coberturas dos empreendimentos residenciais multipiso na cidade de Aracaju foram laje maciça com telhado (86,4%), seguido pela laje impermeabilizada sem telha (27,3%), laje nervurada com telhado (18,2%), laje pré-moldada com telhado (13,6%) e telha cerâmica com forro/sem laje (9,1%) (Gráfico 4). Os padrões dos empreendimentos também influenciam na escolha do sistema construtivo das coberturas, logo esse critério é preponderante na seleção dos materiais utilizados em toda a composição da envoltória. Por exemplo, a cobertura com telha cerâmica com forro e sem laje é um sistema que é utilizado em padrões mais populares, de acordo com um dos entrevistados.

Gráfico 4: Sistemas construtivos das coberturas utilizados nas construtoras locais



Na composição com a laje maciça, a maioria das empresas (89,5%) adota a telha de fibrocimento, seguida por telha cerâmica, 26,3% e telha metálica, 10,5% (Gráfico 5). As empresas L e O utilizam a telha metálica tipo "sanduíche", que é um tipo de telha que apresenta entre as camadas da parte superior e inferior o EPS, poliestireno expandido, favorecendo o desempenho térmico do conjunto.

Um percentual de 84,2% das empresas entrevistadas impermeabiliza a laje maciça por completo ou em alguns trechos para servir de circulação de pessoas que irão fazer futuras manutenções, evitando a movimentação por cima das telhas. As empresas M e S comentaram que ao adotarem a laje maciça impermeabilizada sem telha, utilizam um isolante de alta densidade, a exemplo do XPS, poliestireno extrudado, que serve como isolante térmico e ajuda no desempenho térmico da cobertura.

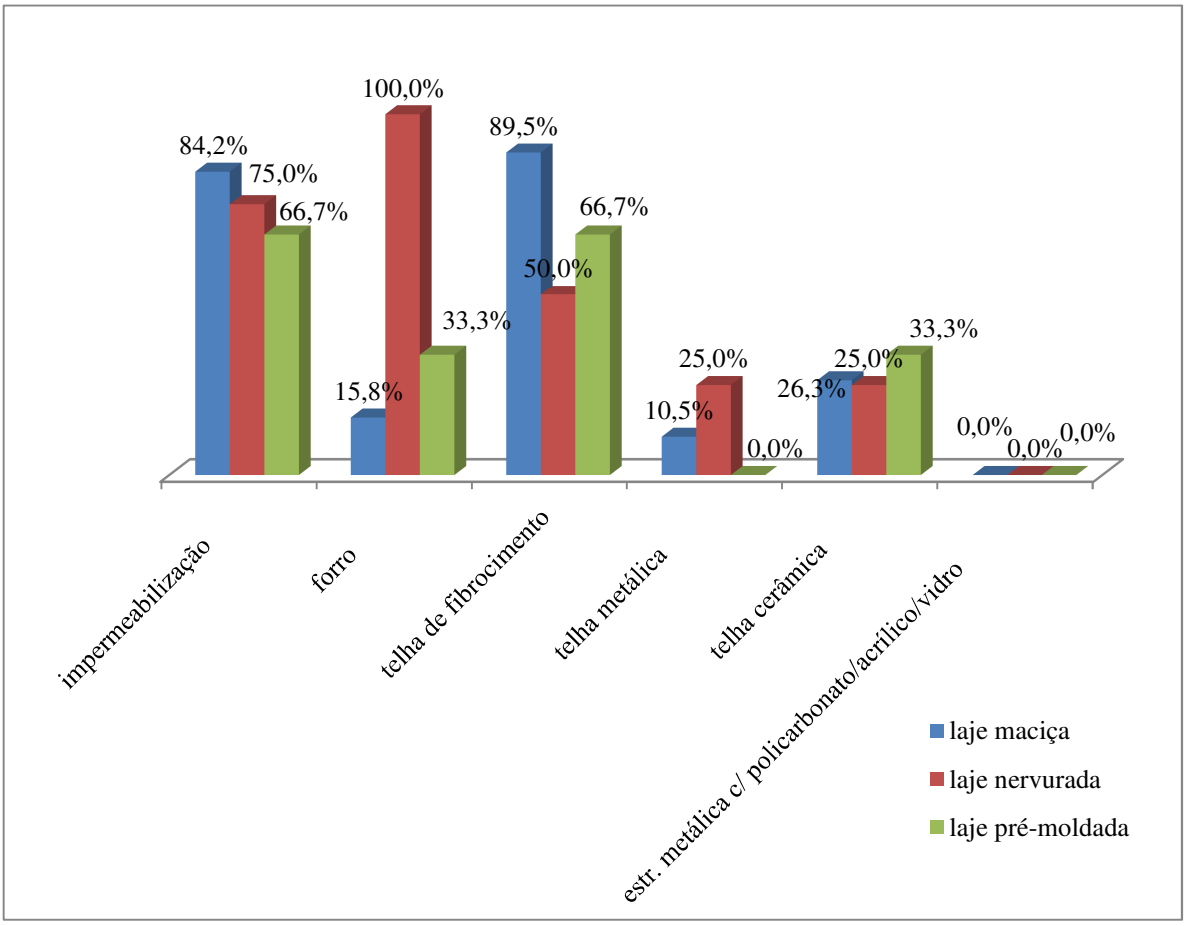
Algumas construtoras e/ou incorporadoras também adotaram o forro abaixo da laje maciça, representando 15,8%, sendo que esse percentual considera apenas as empresas que utilizam em todo o apartamento, pois todas adotam forros de gesso no teto dos banheiros, com o intuito de esconder as tubulações.

Ao empregar as lajes nervuradas, o diferencial em relação à laje maciça foi que 100% utilizam forros de gesso em todo apartamento para esconder as "nervuras" dessas nos ambientes internos. Existe também a impermeabilização no exterior da laje (75%) e a utilização da telha de fibrocimento (50%), telha cerâmica (25%), e metálica (25%).

Com a laje pré-moldada, 66,7% usam a impermeabilização, 33,3% o forro de gesso interno, 66,7% telha de fibrocimento, e 33,3% telha cerâmica. Observa-se que com essa tipologia de laje não adotaram a telha metálica.

Em relação à estrutura metálica com policarbonato, acrílico ou vidro não é convencional adotar em coberturas de edificações residenciais multipiso, independente da laje utilizada. Esse tipo de cobertura é mais utilizado na área comum dos empreendimentos, por exemplo, em um quiosque da guarita, uma churrasqueira etc.

Gráfico 5: Composição da laje maciça, nervurada e pré-moldada



No Quadro 21 foram descritos os detalhes utilizados nas composições padrões da fachada e da cobertura dos empreendimentos por cada empresa, sendo que algumas destas detalharam mais de uma composição e apenas uma não disponibilizou a composição das envoltórias. A descrição do detalhamento das camadas começa com os materiais da parte interna até a parte externa da fachada e da cobertura.

Quadro 21: Detalhe do padrão mais utilizado da composição da fachada e da cobertura dos empreendimentos por empresa entrevistada

EMPRESA	COMPOSIÇÃO FACHADA	COMPOSIÇÃO COBERTURA	OBSERVAÇÃO
A	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm + chapisco colher 0,5cm + emboço 4cm + pastilha porcelana 1cm	Laje maciça 13 a 15cm + impermeabilização em manta asfáltica 4mm + telhado em madeira maciça + telha de fibrocimento de 6mm	
B	Pintura + reboco/argamassa (áreas secas) 1,5 a 2,5cm ou gesso mestrado de 1,5 a 2,5cm + chapisco/argamassa 0,5cm + alvenaria de bloco cerâmico 14cm ou 19cm (atualmente) + chapisco/argamassa 0,5cm + emboço externo/argamassa 2,5 a 5cm + pastilha 1,5cm ou pintura ou textura	Pintura + gesso mestrado 1 a 2cm ou reboco 1 a 2cm + chapisco 0,5cm + laje maciça 10 a 15cm + contrapiso de 2,5cm (pode variar com o caimento) + madeiramento + telha fibrocimento 8mm	Nas paredes das fachadas, nos ambientes que são áreas molhadas, adota-se emboço de 1,5 a 2,5cm e revestimento cerâmico 1,5cm ao invés do reboco e pintura. A espessura do revestimento cerâmico pode variar a depender do modelo e do fornecedor. Adotam impermeabilização nos trechos deixados para circulação de pessoas responsáveis pelas futuras manutenções.
C	Bloco cerâmico 19cm + emboço + chapisco + reboco	Laje 10cm + impermeabilização + cobertura + telhado	
D	Não informaram		
E	Tinta + selador (película) + gesso 0,5cm + bloco cerâmico estrutural + chapisco 0,5cm + reboco 4cm + selador acrílico + textura	Pintura + gesso 0,5cm + laje impermeabilizada 10cm + telha fibrocimento 6mm	
F	Alvenaria estrutural ou de vedação com bloco cerâmico: gesso corrido 1cm + bloco cerâmico estrutural 14cm ou bloco cerâmico de vedação 14cm + reboco 2cm + pintura ou gesso corrido 1cm + bloco cerâmico 14cm + emboço 2,5cm + pastilha cerâmica	Laje de 12 cm + manta térmica + telha de fibrocimento	
	Parede de concreto armado moldada no local: regularização interna (espessura mínima) + parede de concreto de 10 cm a 12 cm + regularização externa (espessura mínima) + revestimento cerâmico ou pintura.		
G	Pintura + gesso 1,5cm interno + bloco cerâmico estrutural 14cm + reboco externo 3 a 3,5cm	Gesso interno 1,5cm + laje 10cm + telha fibrocimento 6mm	

EMPRESA	COMPOSIÇÃO FACHADA	COMPOSIÇÃO COBERTURA	OBSERVAÇÃO
H	Alvenaria de vedação com bloco cerâmico: Gesso interno na área seca de 2 a 2,5cm + bloco cerâmico 14cm + camada única de chapisco, reboco e emboço de 5 a 7cm + argamassa de assentamento 0,5cm + revestimento externo 0,5cm	Laje de 10 a 15cm + contrapiso de regularização 4 a 5cm + telha de fibrocimento 8 mm (irão mudar para uma telha térmica de fibrocimento topcomfort de 6mm, na cor branca, sem amianto, a fim de melhorar as condições de desempenho térmico, pois a mesma ajuda refletir os raios solares diretos, diminuindo a troca de calor com o ambiente adjacente)	Nos padrões populares, pararam de utilizar bloco estrutural nas paredes e adotam a parede de concreto moldada no local. Para validar esse sistema, fizeram ensaios térmicos e quando alguma unidade não passava, alterava-se a cor da fachada. Para empreendimentos populares, a empresa adota ventilação cruzada na cobertura
	Parede de concreto moldada no local: Acabamento interno (espessura mínima) + parede de 10cm + limpeza e acabamento externo (espessura mínima)		
I	Paredes de concreto 10 cm	Com telha cerâmica: laje de concreto de 10cm + telha cerâmica.	
		Laje impermeabilizada: laje de concreto de 10cm impermeabilizada + manta asfáltica + proteção térmica de EPS (poliestireno expandido, popularmente conhecido como isopor) de alta densidade + proteção mecânica em concreto.	
J	Alvenaria de vedação com bloco cerâmico sendo revestido: Bloco cerâmico (14cm com 6 furos) + chapisco 1cm + emboço 3cm + pastilha 1,5cm	Laje pré-moldada 8cm + concreto usinado 5cm + estrutura de madeira + telha cerâmica	
	Alvenaria de vedação com bloco cerâmico com pintura: Bloco cerâmico (14cm com 6 furos) + chapisco 1cm + reboco 3cm + pastilha 1,5cm	Laje maciça 12cm + impermeabilização 0,4cm + proteção mecânica 2,5cm	
K	Pintura + reboco (argamassa) 2 a 2,5cm + chapisco 0,5cm + bloco de concreto 14 cm + chapisco 0,5cm + argamassa 3cm + revestimento	Gesso ou argamassa projetada 1,5cm + laje de concreto 10 a 14cm + camada de isopor 10cm embaixo da telha + madeiramento + telha de fibrocimento 6 a 8mm	

EMPRESA	COMPOSIÇÃO FACHADA	COMPOSIÇÃO COBERTURA	OBSERVAÇÃO
L	Fachada vedação: gesso 1cm + bloco cerâmico 12cm (6 furos) + chapisco 0,5cm + reboco 3cm + revestimento (1cm) ou pintura	Cobertura laje maciça: gesso 0,5cm + laje maciça 12cm + placas de EPS Isofoam (Isofoam são placas de isopor moldadas de alta densidade - poliestireno expandido - EPS) + estrutura metálica + telha de fibrocimento	Como a fachada estrutural é utilizada em padrão mais popular, o acabamento final é pintura
	Fachada estrutural: gesso 0,5cm + bloco de concreto 14 cm (2 furos na vertical) + reboco/massa 3cm + pintura	Cobertura laje nervurada: forro de gesso 3cm (mais espaço vazio entre laje nervurada e o forro) + laje maciça 24cm (total da lâmina e das nervuras) + placas de EPS Isofoam + estrutura metálica + telha de fibrocimento	
	Fachada parede de concreto moldada no local: pintura + parede de concreto de 10cm + pintura		
M	Gesso interno 1cm + bloco cerâmico 14cm + processo de calafetação (Vedar fendas e pequenos buracos surgidos durante a obra, no caso dos blocos) + chapisco 0,5cm + reboco 4cm + argamassa 0,5cm + pastilha 1cm	Gesso interno 1cm + laje maciça 14cm + regularização 2,5cm + manta 4mm + proteção mecânica 0,5cm + isopor - poliestireno extrudado de alta densidade (XPS - Poliestireno extrudado para isolamento térmico de coberturas, lajes, pisos e paredes) 2,5cm + contrapiso 4cm (depende de caimento)	
N	Bloco cerâmico de 14cm de espessura + chapisco + emboço 4cm + pastilha cerâmica + rejunte + quartzolit	Laje + telhas de fibrocimento na maior parte e impermeabilização com manta asfáltica nas passagens para manutenção	
O	Gesso interno 0,5cm + bloco cerâmico estrutural de 14cm ou bloco cerâmico de vedação de 9cm + chapisco 0,5cm + reboco 4cm + pastilha 0,8cm	Laje impermeabilizada: laje + regularização (depende do caimento) 10cm + manta asfáltica de 4mm + isopor EPS de alta densidade laranja + tela soldável + proteção mecânica	
		Laje com telha: laje + regularização 10cm (depende do caimento) + impermeabilização de calhas e rufos + madeiramento ou estrutura metálica + telha PU (sanduiche - Telha térmica com poliuretano) ou telha de fibrocimento de 6mm	
P	Gesso interno 1 a 1,5cm + alvenaria estrutural cerâmica 14cm + chapisco de 0,5cm + reboco de 3 a 4 cm + pintura	Gesso a 1 a 1,5cm + laje pré-moldada 12cm + capeamento de concreto para esconder a tubulação 4 a 6cm + madeiramento + telha fibrocimento 6mm	

EMPRESA	COMPOSIÇÃO FACHADA	COMPOSIÇÃO COBERTURA	OBSERVAÇÃO
Q	Pintura + reboco de gesso 1,5cm + chapisco 1cm + argamassa de assentamento 1,5cm + bloco cerâmico 11,5cm + argamassa de assentamento 1,5cm + chapisco 1 cm + reboco 3cm + textura ou pastilha 0,5cm	Laje maciça 12cm + contrapiso 5cm + impermeabilização + estrutura de madeira + telha de fibrocimento 6mm	
R	Reboco interno 2cm + bloco cerâmico estrutural 14cm e de vedação 14cm + impermeabilização + reboco externo 2,5cm + pintura ou pastilha externa	Reboco interno de gesso 1cm + chapisco rolado 0,5cm + laje maciça 10cm + contrapiso 4cm + impermeabilização + madeiramento + fibrocimento 6mm	
S	Gesso 1cm + alvenaria em bloco cerâmica 12cm + chapisco 0,5cm + reboco/massa 2,5cm + pastilha 1cm	Gesso 1cm + laje maciça 12cm + regularização para dar o caimento da água aos ralos 1 a 3 cm + manta asfáltica (impermeabilização) + proteção mecânica 1,5 cm + poliestireno - isopor de alta densidade de 5cm + contrapiso de 5cm	
T	Gesso 0,5cm + bloco cerâmico estrutural 14cm + reboco 2,5cm + selador acrílico + textura (Ibratin)	Gesso 0,5cm + laje maciça 8 cm + madeiramento + telha cerâmica	Esses padrões são para prédios de 3 andares
U	Fachada vedação: Gesso 2cm + bloco de vedação cerâmico 9cm ou 14cm (a espessura vai depender da incidência do vento) + impermeabilização + chapisco 0,5cm + reboco 3cm + pastilha 0,8cm Fachada estrutural: Gesso 2,0cm + bloco estrutural cerâmico 14cm + impermeabilização + chapisco 0,5cm + reboco 3cm + textura acrílica	Gesso 2cm + laje maciça de 8 a 10cm (se for laje pré-moldada a espessura é de 12 a 14 cm + impermeabilização + madeiramento + telha de fibrocimento	
V	Tinta PVA latéx + gesso corrido 1cm + bloco cerâmico de vedação, quando estão na projeção de vigas, usa o bloco de 11,5cm, quando não estão, usa o bloco de 9,0cm + chapisco rolado utilizado na estrutura com 0,5cm e chapisco comum na alvenaria com 0,5cm + emboço de 1cm + argamassa ACII de 0,5cm + pastilha de 0,8 a 1,2cm	Tinta PVA latéx + placas de gesso (depende do sistema estrutural) + laje maciça ou nervurada + regularização de 1 cm + emulsão asfáltica + espuma rígida de poliestireno multicelular extrudada XPS de 4cm, em placas com espessura constante coladas sobre a superfície, com a condutibilidade térmica, proteção mecânica 1cm e argila expandida 10cm	As espessuras das lajes dependem do sistema estrutural e das dimensões dos vãos de cada empreendimento. Não utilizam telhas, apresentando todo o sistema de drenagem na laje impermeabilizada. A tecnologia de impermeabilização não permite que o calor avance para os ambientes internos, além da utilização da argila expandida. No método simplificado da NBR 15575/2013, esses sistemas de cobertura passam tranquilamente, segundo o entrevistado.

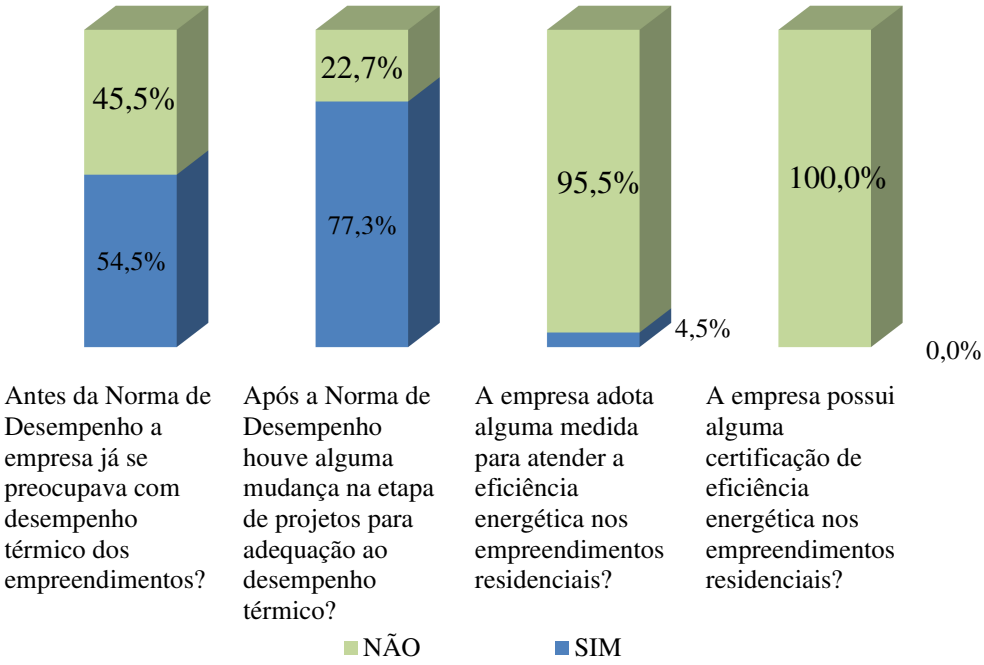
Finalizada a primeira etapa do questionário sobre os temas “projeto e obra”, foram realizadas mais cinco perguntas aos entrevistados para verificar o atendimento ao desempenho térmico, utilizando os requisitos e critérios da NBR 15575/2013, e para analisar de forma sucinta a questão da eficiência energética nos empreendimentos. Foi perceptível com as respostas que ainda há necessidade de adequação dos requisitos de desempenho térmico nos empreendimentos residenciais em Aracaju/SE.

Primeiramente, interrogou se as empresas já se preocupavam com o desempenho térmico dos empreendimentos residenciais antes da Norma de Desempenho. Os resultados positivos foram de 54,5%, pois já adotavam alguns critérios, como: estudo de um partido arquitetônico adequado; orientação solar com melhor disposição das torres dos prédios, dos apartamentos e das janelas nas fachadas; utilização de materiais com boas características térmicas; emprego de cores claras nas fachadas; preocupação com a ventilação dos ambientes internos; e utilização de alguns materiais como o EPS (poliestireno expandido, conhecido como isopor) de alta densidade na laje das coberturas.

Em seguida, foi verificado se após a publicação da Norma de Desempenho, houve mudanças nas empresas durante o desenvolvimento de projetos para adequação ao desempenho térmico, apresentando um percentual positivo de 77,3% (Gráfico 6). Possivelmente, essa mudança está atrelada à necessidade de evitar futuros problemas judiciais que podem prejudicar a relação da empresa com os clientes e afetar financeiramente, gerando custos em longo prazo para a própria empresa caso não atendam.

Em relação à eficiência energética, foi questionado se a empresa adota alguma medida nos empreendimentos e apenas 4,5% deram uma resposta positiva. Como critérios utilizados têm-se: adoção de placa solar na cobertura para alimentação da área comum e a utilização de sensores de presença nas áreas comuns. Um ponto intrigante comentado durante a entrevista pelo representante da empresa L foi que a mesma utiliza a placa solar apenas em um empreendimento comercial próprio, pois a ideia é de economizar na conta de energia da empresa. Outro item questionado foi se as empresas possuem alguma certificação de eficiência energética em algum empreendimento residencial e 100% das respostas foram negativas (Gráfico 6).

Gráfico 6: Situação termo energética das empresas e seus empreendimentos



Por fim, questionou-se sobre quais são as justificativas para a construtora e/ou incorporadora nunca ter adquirido nenhuma certificação em eficiência energética nos empreendimentos residenciais e as respostas foram bastante similares, principalmente no que se refere ao custo do empreendimento.

Os entrevistados acreditam que para as empresas acrescentarem itens de eficiência energética e depois solicitar uma certificação em um empreendimento residencial, aumentaria o valor da construção do empreendimento e não traria retorno para a corporação, pois esse valor precisaria ser adicionado ao valor final de vendas e ser repassado ao cliente, que na maioria das vezes, não entende os benefícios desses itens, não agregando valor ao consumidor final. Outro ponto que foi bem enfatizado pela maioria dos entrevistados das construtoras e/ou incorporadoras de não possuírem esse hábito foi devido à falta de exigência das normas, das legislações, do próprio cliente e do mercado em geral. Segundo a empresa G, “tudo parte do consumidor, ou seja, o mercado que dita o que as empresas devem fazer e, hoje, as pessoas não pedem isso, principalmente em padrões mais baixos.”. Analisando essa questão, é notório que o envolvimento e a cobrança do cliente são primordiais para o desenvolvimento e aprimoramento da área.

Além dessas justificativas, tiveram: falta de conhecimento sobre o assunto no mercado local e na própria empresa; não é uma prática local, logo não há concorrência perante esse

quesito; investimento alto para o retorno somente do cliente e ainda em longo prazo; falta de incentivo financeiro para o investimento, sendo o exemplo de incentivo algum benefício durante o financiamento dos empreendimentos pelos bancos; falta de interesse da empresa, nunca pensaram sobre o assunto; alto custo para operação dos equipamentos, a exemplo de uma placa solar; e a situação atual da construção civil e de todo o país ("crise econômica atual").

Os resultados das entrevistas nas empresas foram importantes para o trabalho, pois foi percebido que os critérios utilizados, de forma geral, para determinação da envoltória possuem prioridades em outros pontos como custo, porte/padrão do empreendimento, durabilidade, estanqueidade, entre outros, ao invés do desempenho termo energético, que as edificações devem proporcionar. O desempenho térmico é um critério crescente como preocupação nas empresas, devido à implantação da Norma de Desempenho, porém, em relação, a eficiência energética, as construtoras estão longe de utilizá-la como critério para desenvolvimento dos projetos e construções de edificações residenciais multipiso. No que se refere à especificação dos materiais dos sistemas das envoltórias, é perceptível que não existe um padrão entre as empresas, podendo variar até dentro da própria obra a depender de como foi a execução e o profissional que acompanhou a mesma.

4.2 Estudo de caso

Para o estudo do desempenho térmico das envoltórias das edificações residenciais multipiso em Aracaju/SE, utilizando as diretrizes da NBR 15575/2013, foram adotados dois métodos: simplificado e de simulação computacional. Tanto para o procedimento do método simplificado quanto para o de simulação computacional foram utilizadas características dos sistemas construtivos das envoltórias especificados pela empresa B, adquiridas através da entrevista nas empresas locais.

Além disso, para estabelecer um padrão real, a empresa B também disponibilizou um projeto arquitetônico para aplicação dessa composição e, assim, desenvolver o estudo de caso para avaliação do desempenho térmico.

4.2.1 Composição da envoltória

Após os resultados das entrevistas, foram determinados para o estudo de caso os detalhes do sistema padrão mais utilizados na composição das envoltórias das edificações residenciais multipiso em Aracaju/SE. A composição das paredes (Quadro 22) consistiu em alvenaria de vedação com bloco cerâmico e revestimento externo, já a composição das

coberturas (Quadro 23) utilizou laje maciça de concreto e telha de fibrocimento. Essas composições foram empregadas nos métodos simplificado e de simulação computacional.

Quadro 22: Composição da parede da envoltória com revestimento externo do estudo de caso

Composição da parede da envoltória com revestimento externo		
Material/Elemento	**Espessura (cm)**	**Observação**
Parte interior		
Pintura	-	Pintura acrílica, cor branco
Reboco	1,5	A depender da qualidade do bloco, a espessura pode variar de 1,5 a 2,5 cm, sendo essa consideração para áreas internas secas. Quando é área molhada, como parede de um banheiro, ainda possui uma argamassa de assentamento (0,5cm) mais o revestimento que pode variar de 1,0 a 2,0 cm. Para esse trabalho, interessa a área seca. Usa-se o gesso nos pavimentos centrais da torre. Já os primeiros e os últimos pavimentos usa-se reboco, devido à ação do vento.
Chapisco	0,5	
Alvenaria – bloco cerâmico	14	Antigamente, utilizava-se bloco de 14,0cm com 9 furos (14x19x29cm), mas para acompanhar o alinhamento das vigas de borda da fachada, começaram a adotar os blocos cerâmicos de 19,0 cm (19x19x29cm) com 9 furos.
Chapisco	0,5	
Emboço	2,5	Esse valor varia de 2,5 a 5,0cm, dependendo da prumada e, algumas vezes, ultrapassa até os 5,0cm, precisando colocar uma tela.
Argamassa de assentamento	0,5	
Revestimento	1,5	A espessura pode variar a depender do revestimento utilizado, geralmente são entre 1,5 a 2,0cm as peças.
Parte exterior		
Obs. 1: Caso a composição da parede da envoltória fosse composta na parte externa com pintura, pararia na etapa de emboço e depois aplicaria o selador e pintura, que possuem espessuras insignificantes, mas influenciam bastante na questão das cores adotadas. **Obs. 2:** Adotou-se a menor espessura descrita pela empresa.		

Quadro 23: Composição da cobertura da envoltória com telhas de fibrocimento do estudo de caso

Composição da cobertura da envoltória com telhas de fibrocimento		
Material/Elemento	**Espessura (cm)**	**Observação**
Parte interior		
Pintura	-	Pintura Látex PVA, cor branco
Reboco	1,0	Usa-se o gesso nos pavimentos centrais da torre. Já os primeiros e os últimos pavimentos usa-se reboco, devido à ação do vento. Esse valor pode variar de 1,0 a 2,0 cm.
Chapisco	0,5	
Laje maciça de concreto	10,0	A depender da estrutura pode variar entre 10,0 a 15,0 cm.
Contrapiso	2,5	Depende do nivelamento da laje e do caimento que precisa no local, logo a área da cobertura influencia.
Madeiramento	-	Espaço da câmara de ar entre a telha e laje.
Telha de fibrocimento	0,8	
Parte exterior		
Obs. 1: A composição da cobertura da envoltória apresenta alguns trechos que não possuem a telha de fibrocimento, pois são impermeabilizadas e utilizadas como calhas, isso depende da configuração do		

pavimento do barrilete/cobertura que varia de acordo com o empreendimento. Porém, independente dessas áreas, a parte coberta com telha é maior, ou seja, possui maior representatividade no total e para simulação computacional foi adotada essa diretriz, visto que a pequena área impermeabilizada não influencia no resultado.
Obs. 2: A cobertura afeta diretamente o último pavimento, pois fazem troca de calor entre si.
Obs. 3: Adotou-se a menor espessura descrita pela empresa.

4.2.2 Unidade habitacional padrão

A empresa B também disponibilizou os projetos construtivos de um empreendimento que seria composto por 02 torres para a realização do estudo de caso. Cada torre teria 14 (catorze) pavimentos, sendo 01 (um) térreo com área comum e 13 (treze) pavimentos tipo. Em cada pavimento tipo (Figura 7), existiriam 06 unidades habitacionais, com 3 tipologias diferentes, totalizando 156 apartamentos:

- Tipologia 01 (75,10m²): sala de estar/jantar, terraço, circulação, 3 quartos sendo 1 suíte, WC social, cozinha, área de serviço e laje técnica.

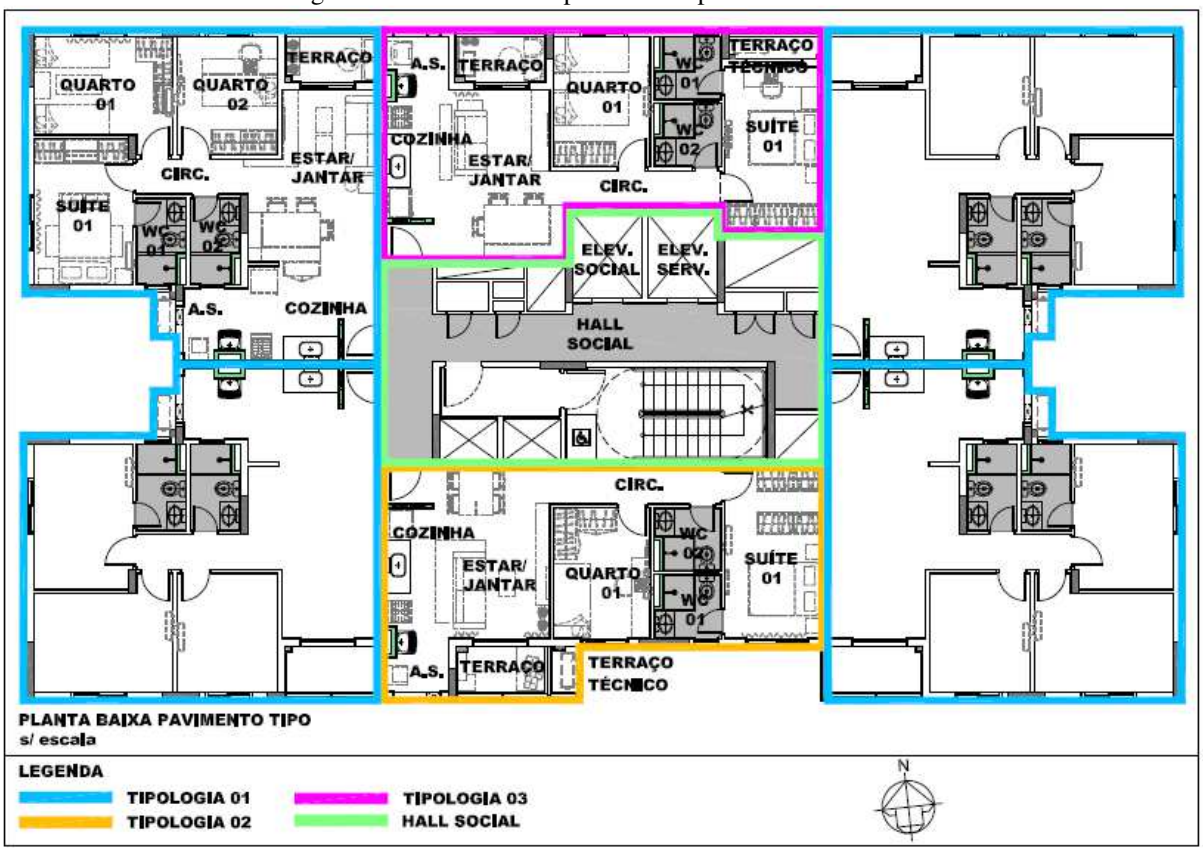
- Tipologia 02 (63,05m²): sala de estar/jantar, terraço, circulação, 2 quartos sendo 1 suíte, WC social, cozinha, área de serviço e terraço técnico.

- Tipologia 03 (64,10m²): sala de estar/jantar, terraço, circulação, 2 quartos sendo 1 suíte, WC social, cozinha, área de serviço e terraço técnico.

Como o foco do trabalho é a avaliação da envoltória de edificações residenciais multipiso, o estudo se desenvolveu a partir do pavimento tipo, destacando o apartamento crítico, conforme orientação da NBR 15575/2013. A orientação solar das torres baseou-se com a orientação real do projeto do empreendimento, conforme o Norte Geográfico apresentado na Figura 7. Logo, a unidade mais crítica foi à tipologia 01 com orientação noroeste.

Para analisar a unidade mais crítica através da simulação computacional, foi necessário modelar a edificação definindo zonas térmicas, considerando cada ambiente do apartamento. Assim, verificaram-se as interferências em cada cômodo de uso prolongado como quartos e sala, segundo a NBR 15575/2013. Para esses ambientes, utilizou-se o pé-direito do projeto arquitetônico de 2,80 metros.

Figura 7: Planta baixa do pavimento tipo – estudo de caso



Fonte: Adaptado de Empresa B, 2018.

A Figura 8 mostra em planta baixa o esquema da divisão da unidade em oito zonas térmicas, identificadas da seguinte forma:

- Zona 1: Quarto 01 – área da zona de 11,42m² (uso prolongado);

- Zona 2: Quarto 02 – área da zona de 9,59m² (uso prolongado);

- Zona 3: Suíte 01 – área da zona de 11,38m² (uso prolongado);

- Zona 4: Banheiro 01 – área da zona de 3,50m² (uso transitório);

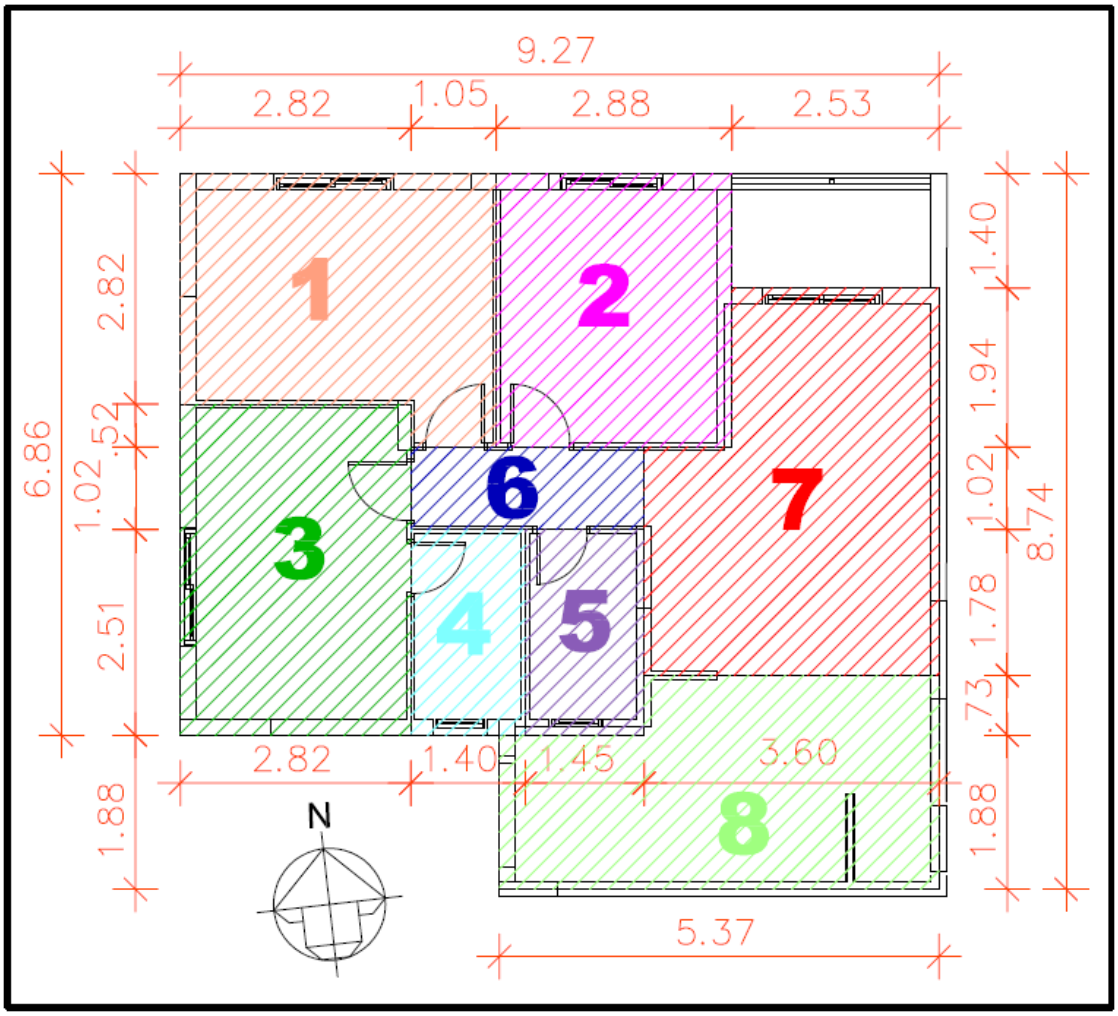
- Zona 5: Banheiro 02 – área da zona de 3,63m² (uso transitório);

- Zona 6: Circulação – área da zona de 2,90m² (uso transitório);

- Zona 7: Sala de estar/jantar – área da zona de 14,95m² (uso prolongado);

- Zona 8: Cozinha – área da zona de 12,72m² (uso transitório).

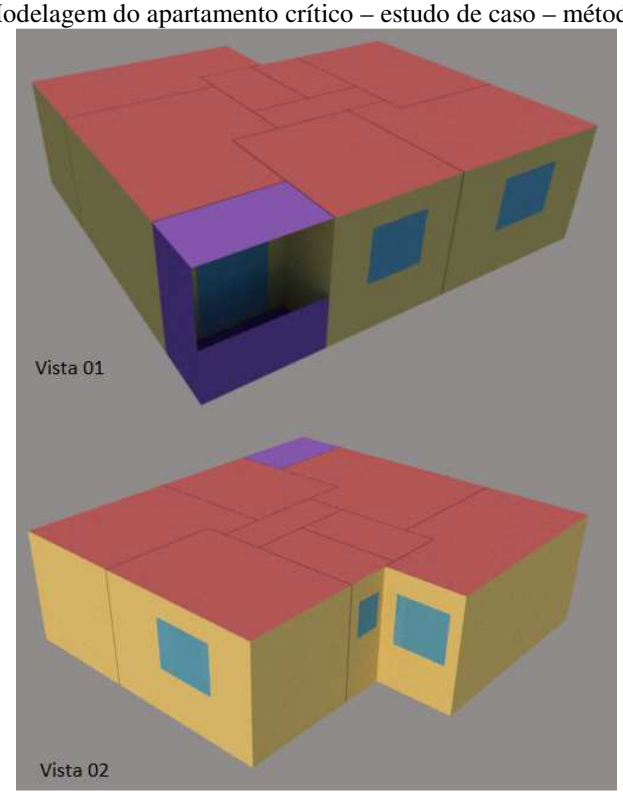
Figura 8: Zonas térmicas da unidade crítica – estudo de caso



Fonte: Adaptado de Empresa B, 2018.

Já a Figura 9 apresenta duas vistas da modelagem no programa *Sketchup*®, utilizando as ferramentas do *plugin Euclid*®. Nessa imagem também é possível visualizar a divisão por zonas, similar à figuras 8. A varanda, representada na cor roxa da Figura 9, não foi considerada uma zona térmica e sim um sombreamento por ser aberta, apresentando apenas o guarda-corpo.

Figura 9: Modelagem do apartamento crítico – estudo de caso – método simulação



4.2.3 Resultados do método simplificado

Para o método simplificado foram adotados os cálculos descritos na metodologia baseados na NBR 15220-2 (ABNT, 2005b). Primeiramente, foi verificado o desempenho térmico dos materiais utilizados nas paredes das fachadas, conforme o padrão representado no Quadro 22. Como o foco é o zoneamento bioclimático 8, analisou-se apenas a transmitância térmica (U) e foi encontrado o resultado de 1,87W/(m².K), ou seja, com os parâmetros da Norma de Desempenho esse valor atende ao desempenho térmico mínimo (Quadro 24), independente do valor de absortância do material de acabamento da parede externa (menor, igual ou maior a 0,60).

Quadro 24: Comparativo da Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância térmica (U) (W/m².K)		
Resultado encontrado	**Zona bioclimática 8**	
U = 1,87	$\alpha \leq 0,60$	$\alpha > 0,60$
	U ≤ 3,70	**U ≤ 2,50**
α é absortância à radiação solar da superfície externa da parede.		

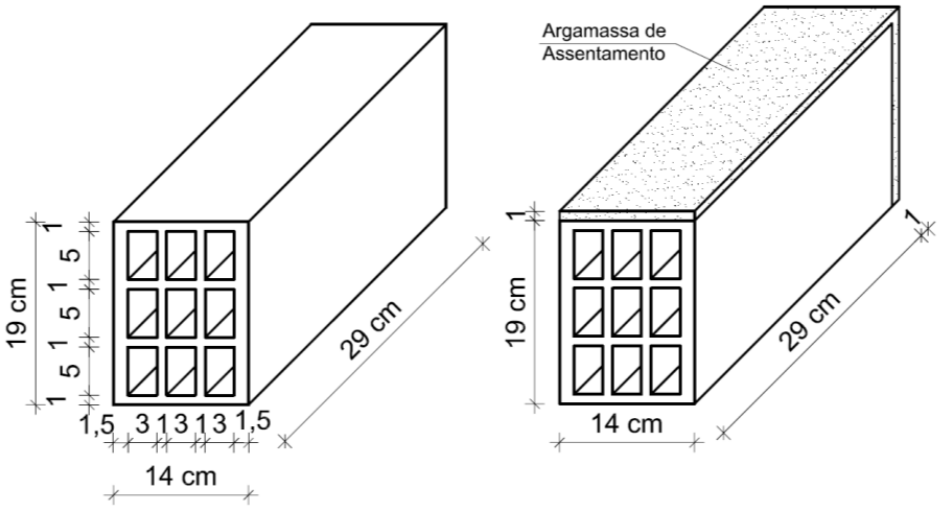
Fonte: Adaptado de NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

O resultado favorável se deve principalmente pela espessura do bloco e a quantidade de câmara de ar (bloco cerâmico com 9 furos) que aumentam a resistência térmica, reduzindo a transmitância térmica. Ao se comparar o resultado desse sistema com o exemplo similar da

norma 15220-2 (ABNT, 2005b), U=2,43W/(m².K), foi perceptível uma melhora na transmitância térmica, pois a norma apresenta parede de tijolo de 10 cm com seis furos rebocados em ambas as faces. Portanto, a espessura e a câmara de ar do bloco cerâmico interferem no desempenho térmico.

A Figura 10 mostra em perspectiva o detalhe do bloco cerâmico de 14x19x29cm para desenvolvimento do cálculo. Em seguida, apresenta-se o memorial de cálculo detalhado, utilizando as Equações (1), (2), (3), (4) e (5), descritas no método da pesquisa.

Figura 10: Bloco Cerâmico 14x19x29cm – perspectiva cavaleira



a. Resistência do tijolo (R_{tijolo})

-Seção 1 (tijolo)

A_1= 0,01 x 0,29=0,0029m²

$$R_1=\frac{\text{e cerâmica}}{\lambda\ \text{cerâmica}}=\frac{0,14}{0,9}=0,1555\ (m^2.K)/W$$

-Seção 2 (tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo)

A_2= 0,05 x 0,29=0,0145m²

$$R_2=\frac{\text{e cerâmica}}{\lambda\ \text{cerâmica}}+R_{ar}+\frac{\text{e cerâmica}}{\lambda\ \text{cerâmica}}+R_{ar}+\frac{\text{e cerâmica}}{\lambda\ \text{cerâmica}}+R_{ar}+\frac{\text{e cerâmica}}{\lambda\ \text{cerâmica}}$$

$$R_2=\frac{0,015}{0,9}+0,16+\frac{0,01}{0,9}+0,16+\frac{0,01}{0,9}+0,16+\frac{0,015}{0,9}=0,54667(m^2.K)/W$$

Observação: Para a câmara de ar não ventilada adotou-se R_{ar}=0,16(m².K)/W (Quadro 16), referente à superfície de alta emissividade, com fluxo horizontal e espessura da câmara de ar não ventilada de 3cm.

-Resistência do Tijolo (R_{tijolo})

$$R_{tijolo} = \frac{4xA_1 + 3xA_2}{\frac{4xA_1}{R_1} + \frac{3xA_2}{R_2}} = \frac{4x0{,}0029+3x0{,}0145}{\frac{4x0{,}0029}{0{,}1555} + \frac{3x0{,}0145}{0{,}54667}} = 0{,}3574(m^2.K)/W$$

b. Resistência da parede (R_t)

-Seção A (reboco + argamassa + emboço)

A_a= 0,01 x 0,29 + 0,01 x 0,19 =0,0048m²

$$R_a = \frac{\text{e reboco\_int.}}{\lambda\ \text{reboco\_int.}} + \frac{\text{e argamassa}}{\lambda\ \text{argamassa}} + \frac{\text{e emboço\_ext.}}{\lambda\ \text{emboço\_ext.}} = \frac{0{,}02}{1{,}15} + \frac{0{,}14}{1{,}15} + \frac{0{,}035}{1{,}15} = 0{,}1695\ (m^2.K)/W$$

-Seção B (reboco + tijolo + emboço)

A_b= 0,19 x 0,29 =0,0551m²

$$R_b = \frac{\text{e reboco\_int.}}{\lambda\ \text{reboco\_int.}} + R_{tijolo} + \frac{\text{e emboço\_ext.}}{\lambda\ \text{emboço\_ext.}} = \frac{0{,}02}{1{,}15} + 0{,}3574 + \frac{0{,}035}{1{,}15} = 0{,}4052\ (m^2.K)/W$$

Assim, a resistência da parede é:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0{,}0048 + 0{,}0551}{\frac{0{,}0048}{0{,}1695} + \frac{0{,}0551}{0{,}4052}} = 0{,}3647(m^2.K)/W$$

c. Resistência térmica total (R_T)

$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$=0,13+0,3647+0,04=0,5347(m².K)/W

Observação: Para R_{si} e R_{se}, adotaram-se os valores do Quadro 17.

d. Transmitância térmica (U)

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0{,}5347} = \mathbf{1{,}87W/(m^2.K)}$$

O padrão de cobertura analisada (Quadro 23) também atendeu ao desempenho térmico mínimo, proporcionando o resultado da transmitância térmica de 1,90 W/(m².K). A cor externa da cobertura é a própria cor da telha de fibrocimento, cor “cinza/alumínio” e, segundo a NBR 15220-2, a absortância térmica é de 0,40 (Quadro 12). Além disso, adotou-se o fator de ventilação igual a 1, pois o sistema de cobertura não possui um ático ventilado. Assim, ao observar o Quadro 25, percebeu-se que a transmitância térmica da cobertura precisaria ser menor ou igual a 2,3 W/(m².K) para atingir o patamar mínimo de desempenho. Caso optasse em elevar o nível de desempenho térmico dessa cobertura para intermediário ou superior, seria necessário acrescentar isolante térmico, ventilação ou adotar outro tipo de telha.

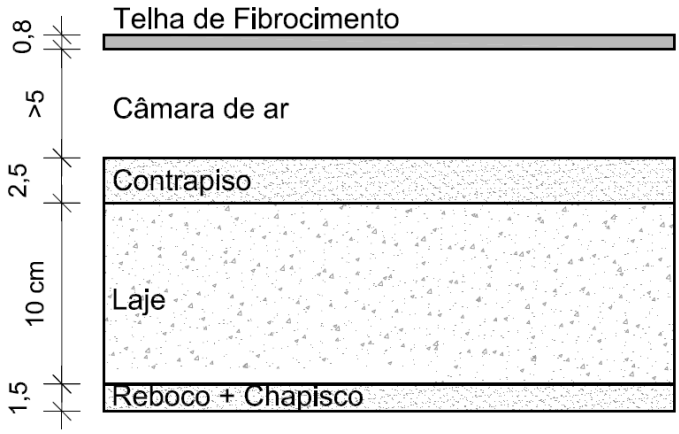
Quadro 25: Comparativo da transmitância térmica de coberturas

Transmitância térmica (U) W/m².K			
Resultado encontrado	**Zona bioclimática 8**		**Nível de desempenho**
U = 1,90	α≤ 0,4	α> 0,4	**M**
	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV	
	α≤ 0,4	α> 0,4	I
	U ≤ 1,5 FV	U ≤ 1,0 FV	
	α> 0,4	α> 0,4	S
	U ≤ 1,0 FV	U ≤ 0,5 FV	
α é absortância à radiação solar da superfície externa da cobertura. Obs.: A cobertura estudada não apresenta ático ventilados, logo, Fv=1. Nota: O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-3, em função das dimensões das aberturas de ventilação nos beirais, ver Quadro 7.			

Fonte: Adaptado de NBR 15575-5 (ABNT, 2013c) e CBIC (2013).

A Figura 11 exibe um sistema equivalente das camadas da cobertura para o cálculo da transmitância térmica e acompanhando segue o memorial de cálculo detalhado da transmitância térmica apenas para o verão, pois é a estação que deve ser analisada no zoneamento bioclimático 8. Utilizaram-se as Equações (1), (2), (4) e (5), descritas na metodologia.

Figura 11: Sistema de Cobertura – equivalente para cálculo



a) Verão

-Resistência térmica (R_t)

$$R_t = \frac{\text{e fibrocimento}}{\lambda\ \text{fibrocimento}} + R_{ar} + \frac{\text{e contrapiso}}{\lambda\ \text{contrapiso}} + \frac{\text{e laje}}{\lambda\ \text{laje}} + \frac{\text{e reboco+chapisco}}{\lambda\ \text{reboco+chapisco}}$$

$$R_t = \frac{0{,}008}{0{,}65} + 0{,}21 + \frac{0{,}025}{1{,}15} + \frac{0{,}10}{1{,}75} + \frac{0{,}015}{1{,}15} = 0{,}3141(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$$

Observação: Para a câmara de ar não ventilada adotou-se R_{ar}=0,21(m².K)/W (Quadro 16), referente a superfície de alta emissividade, com fluxo descendente e espessura da câmara de ar maior que 5cm.

- Resistência térmica total (R_T)

$R_T=R_{si}+R_t+R_{se}=0,17+0,3141+0,04=0,5241(m^2.K)/W$

Observação: Para R_{si} e $R_{se,}$ adotaram-se os valores do Quadro 17.

- Transmitância Resistência térmica total (R_T)

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,5241} = \mathbf{1,90W/(m^2.K)}$$

Portanto, para o método simplificado[16], os sistemas da envoltória representativo dos empreendimentos na cidade de Aracaju/SE atendem ao desempenho térmico mínimo, e caso houvesse a necessidade de elevar o patamar do desempenho, haveria necessidade de mudar algumas diretrizes construtivas e de especificação do produto.

Outro ponto a ser estudado foram as aberturas para ventilação dos ambientes de uso prolongado, sala e dormitórios. Com base em parâmetros da prefeitura local (Quadro 18) e analisados os valores encontrados das áreas das esquadrias pela área útil dos ambientes, percebeu-se que o empreendimento representativo atende à legislação, afinal esse é um ponto muito analisado na prefeitura local para aprovação do alvará para a construção.

Entretanto, a Norma de Desempenho (ABNT, 2013b, p.28) determina que é necessário deduzir "as áreas dos perfis, vidros e de qualquer outro obstáculo" para calcular a área da esquadria, já a legislação local de Divisão de Licenciamento Multiresidencial não explana isso, pois esse cálculo serve tanto para iluminação quanto para ventilação. Logo, as empresas calculam a área total da esquadria sem descontar os obstáculos. Para iluminação dos compartimentos essa subtração não é relevante, porém para troca de ar sim, visto que as esquadrias na maioria dos casos são de correr, que possuem um módulo fixo impedindo a ventilação. Deste modo, é percebido que as esquadrias atendem apenas se for utilizar toda sua área, pois os resultados encontrados já estão no limite (Quadro 26).

16 O site da Projeteee apresenta uma calculadora de propriedades com alguns dados básicos que pode auxiliar o método simplificado, comparando o resultado encontrado com o do site, por exemplo. No trabalho foi realizado esse comparativo e foi encontrado resultado similar para cobertura e para parede externa apenas uma pequena diferença nos valores.
http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/

Quadro 26: Comparativo da ventilação mínima dos compartimentos de uso prolongado

Compartimentos	Área dos Ambientes (m)	Dimensões Esquadrias (m)	Parâmetro legislação local	Resultado 01 Considerando toda área
Zona 01 (Quarto 01)	9,66	1,40 x 1,20 /1,00	1/6 da área do piso = 0,17	1,68/9,66 = 0,17
Zona 02 (Quarto 02)	8,01	1,20 x 1,20 /1,00	1/6 da área do piso = 0,17	1,44/8,01= 0,18
Zona 03 (Suíte 01)	9,58	1,40 x 1,20 /1,00	1/6 da área do piso = 0,17	1,68/9,58= 0,17
Zona 07 (Sala)*	13,52	1,40 x 2,20	1/5 da área do piso = 0,20	3,08/13,52= 0,23
*Terraço com largura < 2,00m.				

Fonte: Adaptado Empresa B e EMURB, 2011.

Embora, a NBR 15575 (ABNT, 2013) determine que quando o sistema atende ao método simplificado de desempenho térmico não há necessidade de fazer o estudo de simulação, a presente pesquisa optou em também apresentar o método de simulação computacional para verificar a interferência da arquitetura e seus elementos constituintes, da troca de ar, da incidência solar direta, das estações durante o ano, a fim de validar o que foi discutido na revisão da literatura.

4.2.4 Resultados do método de simulação computacional

Para a presente pesquisa, as análises das 8 simulações computacionais (Quadro 19) foram realizadas para o dia mais crítico de cada mês, ou seja, o que apresentou maior diferença entre a temperatura interna do ambiente de uso prolongado com a temperatura externa, em alguma hora durante todo o dia (24 horas). Dessa forma, as análises ficaram um pouco diferentes da determinação da NBR 15575, porém foram mais detalhadas.

A partir da análise da simulação A, utilizando 1 renovação de ar por hora, foi constatado que o padrão do sistema das envoltórias mais utilizado em edificações residenciais multipiso na cidade de Aracaju/SE não atendeu ao desempenho mínimo exigido pela NBR 15575 na unidade habitacional mais crítica em nenhum dos meses do ano. Em alguma hora durante o dia a temperatura interna do ambiente ficou maior que a externa, e de acordo a Norma de Desempenho para zona bioclimática 8 é necessário que a temperatura interna seja menor ou igual à externa.

Observou-se, portanto, uma divergência entre os resultados obtidos pelo método simplificado e pelo método de simulação computacional, semelhante ao que foi visto nos trabalhos de Brito *et al.* (2012), Marques e Chvatal (2013) e Chvatal (2014). Ou seja, pode-se inferir que o partido arquitetônico, as trocas de ar, a incidência solar direta, os

sombreamentos, também influenciam no desempenho térmico e não apenas os materiais que o compõe. Assim, mesmo que o método simplificado seja uma análise preliminar do sistema, não se deve limitar a análise por meio de cálculos das propriedades dos materiais.

Os Gráficos 7 ao 18, originados da simulação A, mostram o dia mais crítico dos meses, e através desses foi percebido que nos horários entre 00:00 e 06:00, na madrugada, a temperatura externa vai diminuindo, porém o ambiente internamente ainda continua relativamente quente proveniente de todo o dia. Isso gera uma grande diferença de temperatura externa e interna dos ambientes durante esse período, evidenciando um atraso térmico na estrutura.

Os meses que apresentaram maior diferença, em geral, foram Janeiro (Gráfico 7), Fevereiro (Gráfico 8) e Março (Gráfico 9), meses da estação do verão, que caracterizam-se como uma preocupação local devido à temperatura quente e úmida. Durante esses meses a pior zona térmica foi a 3 (suíte), devido ao ganho de calor nas paredes com uma janela para fachada oeste, recebendo radiação solar direta do poente, e outra para a fachada sul, ganhando insolação devido ao solstício de verão.

A zona térmica 7 (sala) foi o segundo cômodo a apresentar uma pior situação de desempenho, em relação a diferença de temperatura interna e externa. Embora a sala não tenha uma esquadria exposta diretamente na fachada, esta apresenta um terraço, de recuo de 1,40m, que pode gerar um sombreamento, mas também limitar a ventilação direta (troca de ar). Já as zonas 1 e 2 (quartos 01 e 02, respectivamente) apresentaram características das temperaturas internas muito similares, com variações insignificantes.

Gráfico 7: Simulação computacional A – 19 de Janeiro

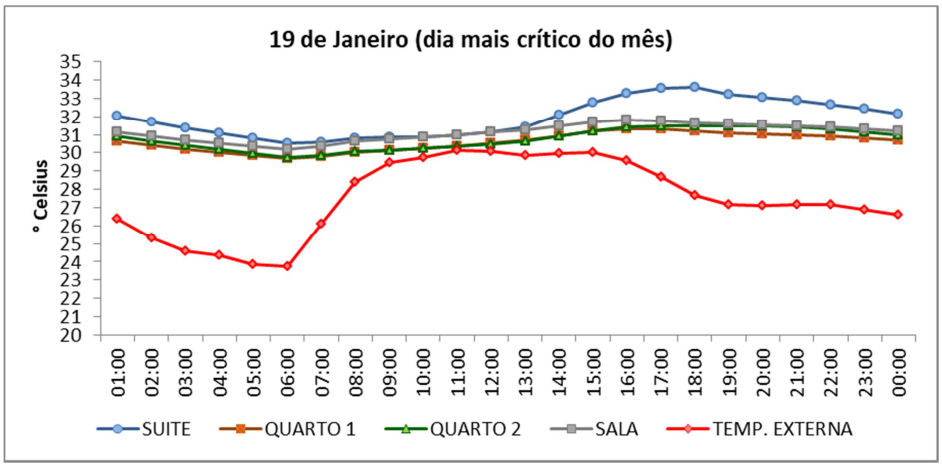


Gráfico 8: Simulação computacional A – 12 de Fevereiro

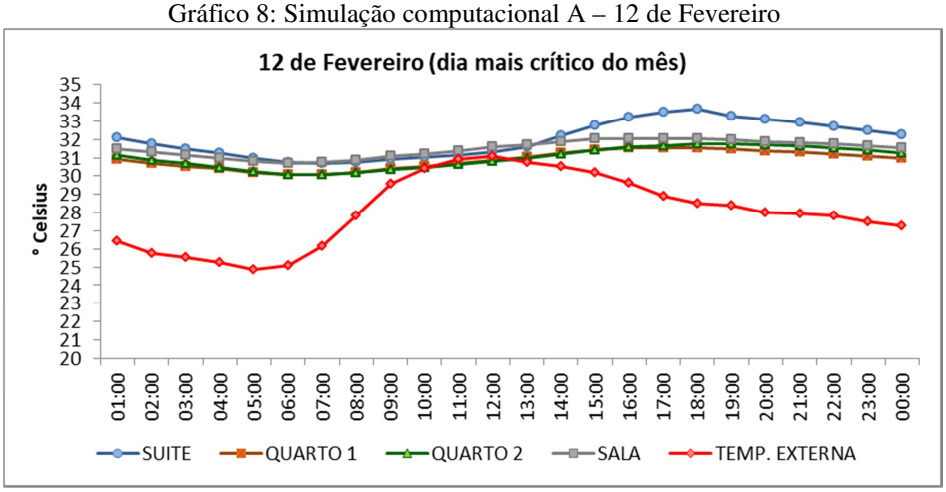
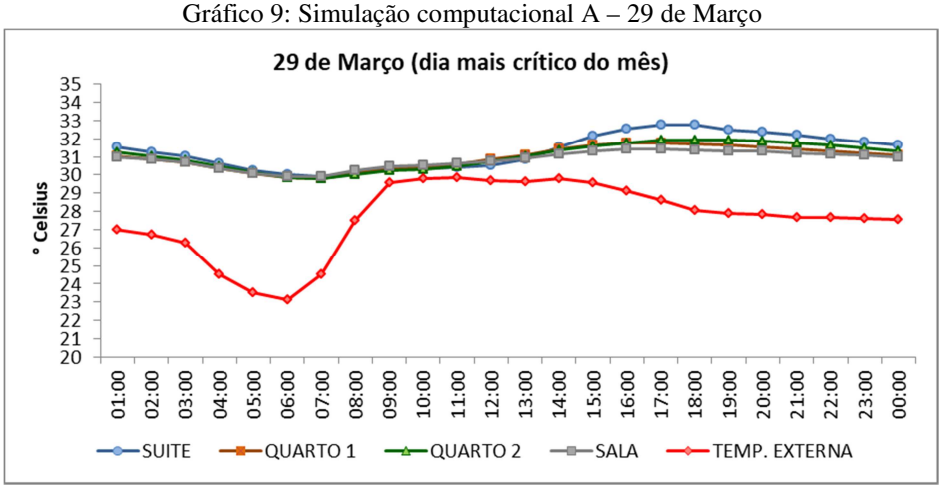
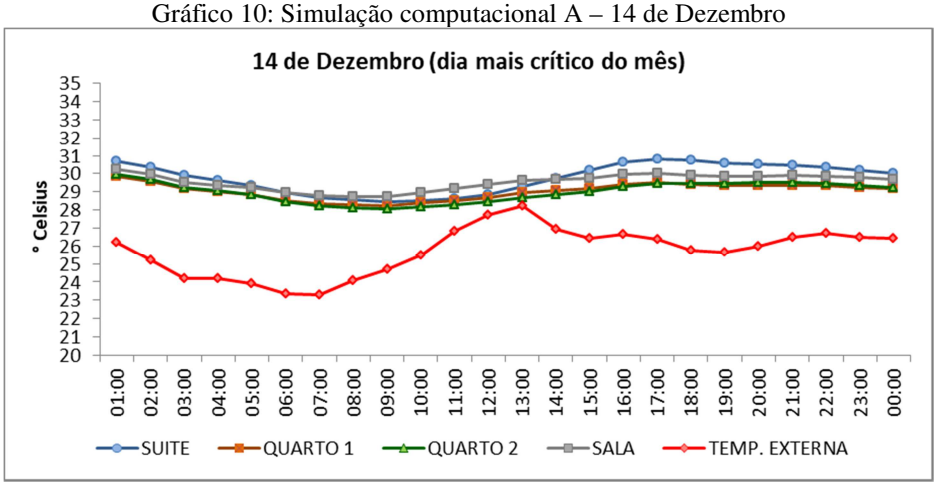


Gráfico 9: Simulação computacional A – 29 de Março



O mês de Dezembro (Gráfico 10), início do verão, apresentou características similares aos demais meses da estação, entretanto, observou-se uma menor diferença entre a temperatura interna do ambiente e externa.

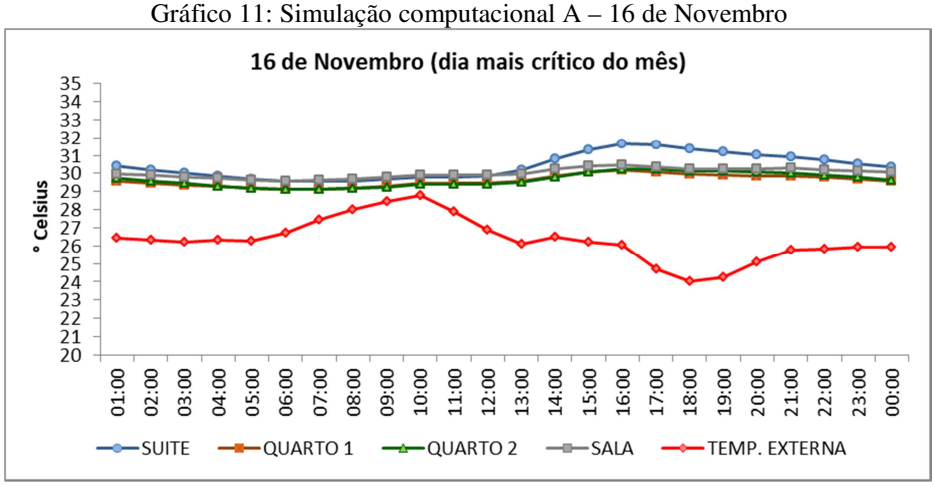
Gráfico 10: Simulação computacional A – 14 de Dezembro



Houve também um destaque para o mês de novembro (Gráfico 11) que, embora seja a estação primavera, no dia 16 de novembro às 18 horas, ocorreu uma queda na temperatura

externa para 24º e internamente permaneceu com 31º, gerando uma diferença de 7º. Esse fato pode ser devido a alguma influência climática pontual que aconteceu durante esse dia, pois são comuns pequenas variações climáticas que não são controladas nem previstas durante o ano.

Gráfico 11: Simulação computacional A – 16 de Novembro



Os meses de Maio (Gráfico 12), Junho (Gráfico 13), Julho (Gráfico 14) e Agosto (Gráfico 15) apresentaram uma menor diferença entre as temperaturas internas e externas, justificada pelas estações do ano e, que apesar da região não apresentar estações tão definidas, é perceptível a mudança de clima devido às mesmas. Os horários durante a madrugada ainda são considerados os críticos para essa diferença.

Nesses meses, o ambiente mais crítico foi o quarto 1, seguido pelo quarto 2, sala e suíte. Essa alteração pode ser explicada devido à localização geográfica da cidade de Aracaju/SE. Assim, durante as estações de outono, inverno e primavera a fachada que recebe o sol durante todo o dia é a fachada norte e, com isso, já se pode notar uma diferença no cômodo mais crítico da unidade habitacional. O quarto 1 possui uma parede para fachada oeste e outra com janela para fachada norte. O quarto 2 e a sala apresentam uma única parede com esquadria para fachada norte. Portanto, as estações do ano, de acordo com a localização que a cidade se encontra, também influenciam no comportamento térmico dos ambientes.

Gráfico 12: Simulação computacional A – 02 de Maio

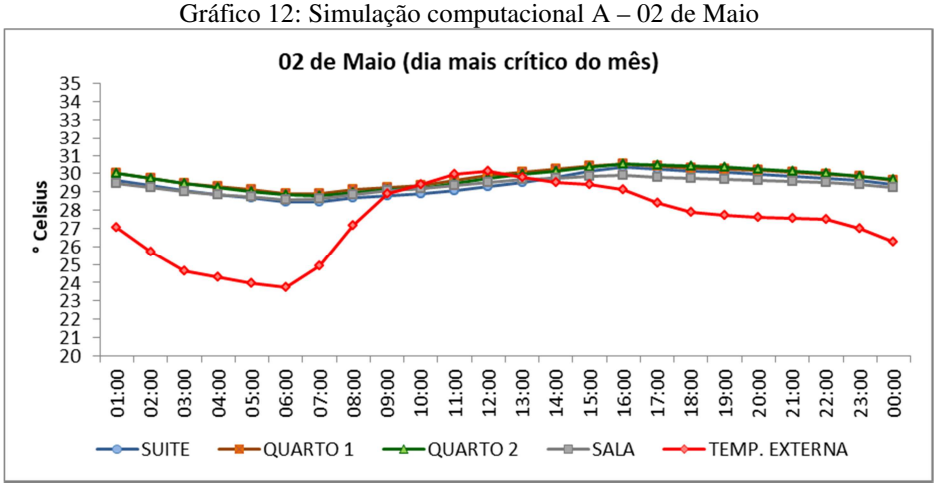


Gráfico 13: Simulação computacional A – 13 de Junho

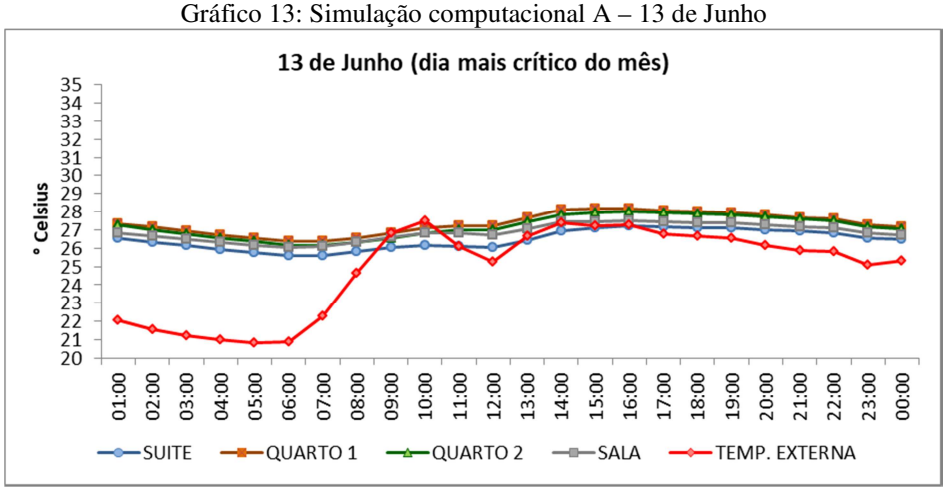


Gráfico 14: Simulação computacional A – 30 de Julho

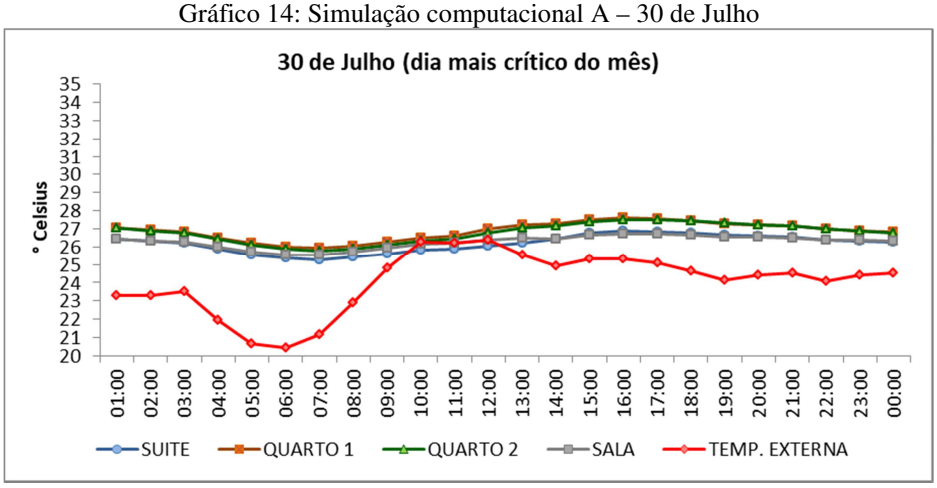
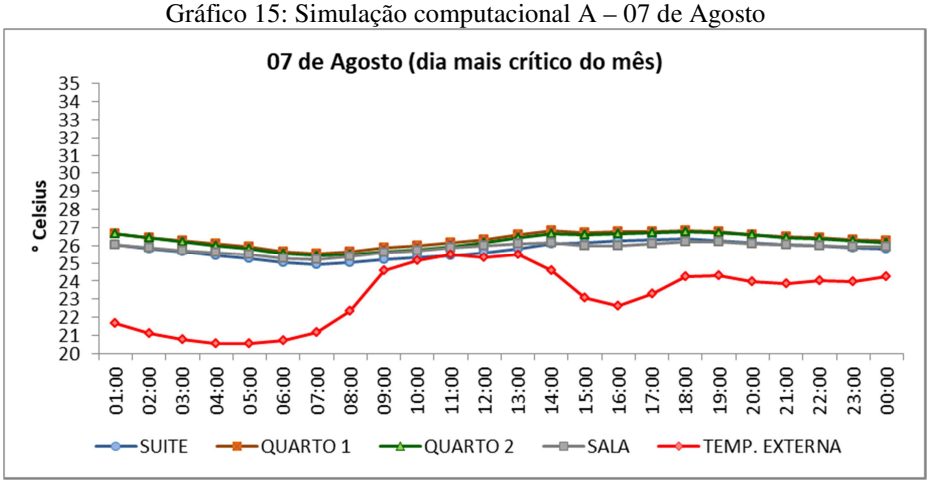


Gráfico 15: Simulação computacional A – 07 de Agosto



Os meses de Abril (Gráfico 16), Setembro (Gráfico 17) e Outubro (Gráfico 18) também exibiram resultados com desempenho térmico desfavorável igualmente aos demais meses do ano.

Gráfico 16: Simulação computacional A – 18 de Abril

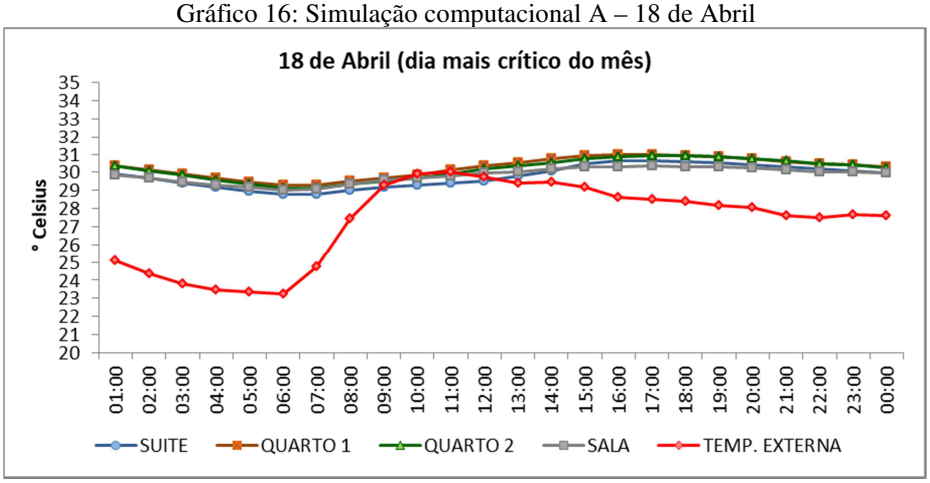


Gráfico 17: Simulação computacional A – 26 de Setembro

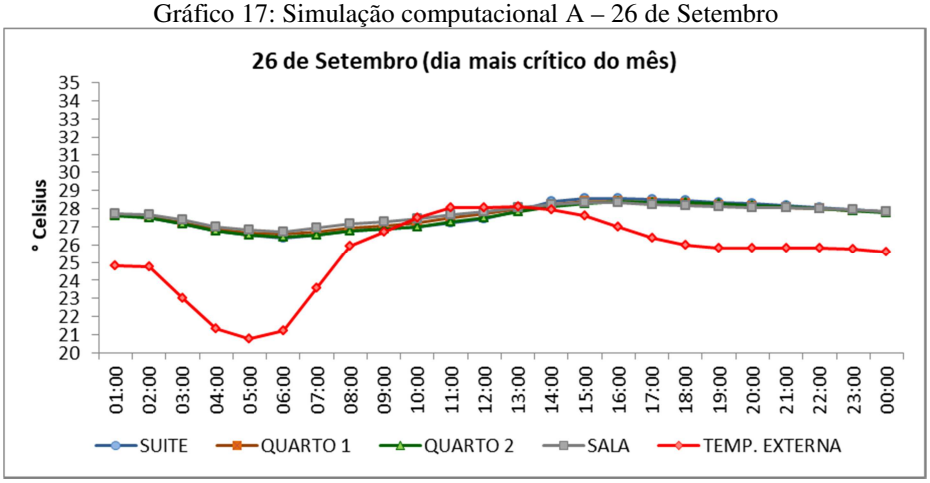
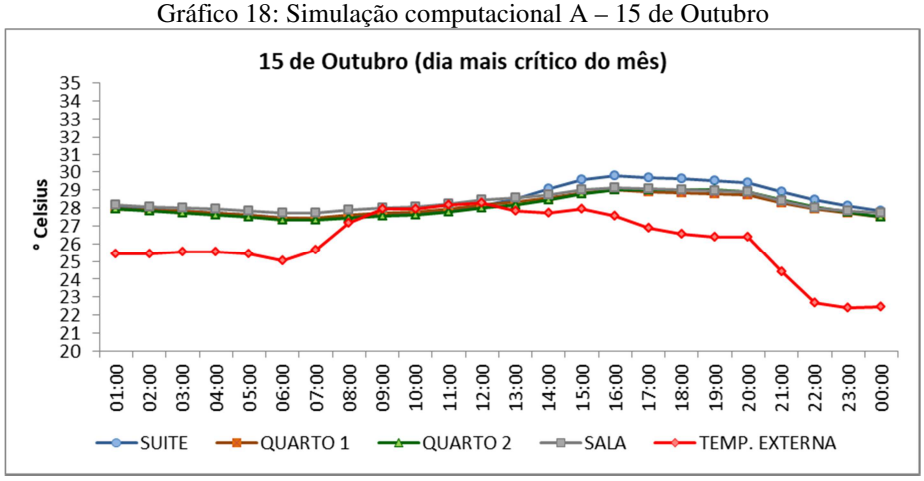


Gráfico 18: Simulação computacional A – 15 de Outubro



A Norma de Desempenho permite que quando o sistema não atende ao desempenho térmico mínimo com 1 ren/h, é possível alterar para 5 renovações de ar por hora (Apêndice B) e refazer a simulação computacional. Assim, foi realizada a simulação B e encontraram-se melhores resultados, pois antes, por exemplo, a maior diferença entre as temperaturas internas da suíte e temperaturas externas foi em média de 7ºC nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Novembro. Já com a simulação B a maior diferença foi em média de 4,4ºC nos mesmos meses. Ou seja, ao aumentar a troca de ar entre o externo e interno favorece o sistema construtivo, principalmente durante o período que a temperatura externa está menor que a interna do ambiente. Entretanto, os resultados ainda não apresentaram o desempenho desejado.

A NBR 15575 ainda permite que mesmo se alterar para 5 ren/h o desempenho térmico mínimo não seja atingido, há possibilidade de acrescentar um sombreamento de 50% nas esquadrias externas (caso o desempenho seja alcançado dessa forma, essa informação dos 50% de sombreamento deve ser posto no Manual do Proprietário para conhecimento do usuário).

Assim, foi realizada a simulação C (Apêndice C), com 5 ren/h e 50% de sombreamento nas esquadrias externas, obtendo-se uma evolução nos resultados, tanto se comparando com a simulação A quanto com a simulação B. A maior diferença de temperaturas encontrada nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Novembro, considerados os mais críticos na simulação A, foi em média de 3,8ºC. Porém, mesmo com a alteração das condições de ventilação e de sombreamento, a unidade mais crítica do empreendimento não atende ao desempenho térmico mínimo exigido pela norma. Logo, há necessidade de otimizar o sistema, utilizando outros materiais, acrescentando elementos isolantes ou facilitando a

troca de ar entre os ambientes interno e externo nos períodos que a temperatura externa esteja mais favorável.

Para analisar a interferência da espessura dos materiais das paredes externas, foi realizada a simulação D (Apêndice D), aumentando o bloco para 19 cm (9 furos). Nas Tabelas 2 e 3 pode-se fazer o comparativo entre a Simulação A e a Simulação D.

Tabela 2: Simulação A – Temperaturas máximas

Mês	Máx de EXTER.	Máx de SUITE	Máx de DIF. SUITE	Máx de QUARTO 2	Máx de DIF. QUARTO2	Máx de QUARTO 1	Máx de DIF. QUARTO 1	Máx de SALA	Máx de DIF. SALA
Jan.	31,29	34,00	6,95	31,75	6,10	31,56	5,97	32,02	6,49
Fev.	31,30	34,35	6,30	32,29	5,41	32,09	5,35	32,56	5,97
Mar.	30,79	33,94	6,91	32,36	6,74	32,10	6,72	32,22	6,79
Abril	31,76	32,08	5,76	32,30	6,11	32,31	6,21	31,48	5,97
Maio	30,59	30,55	4,73	30,95	5,12	30,97	5,19	30,13	4,85
Junho	29,21	29,03	4,99	29,83	5,59	29,92	5,76	28,99	5,35
Julho	27,85	27,68	4,92	28,58	5,44	28,62	5,57	27,46	5,13
Agos.	27,60	29,01	4,87	29,12	5,42	29,10	5,50	28,35	5,00
Set.	28,84	29,99	5,77	29,60	5,77	29,55	5,91	29,37	6,05
Out.	28,66	30,70	5,75	29,77	5,36	29,57	5,31	29,77	5,44
Nov.	29,24	31,76	7,34	30,40	6,11	30,27	6,08	30,59	6,56
Dez.	30,08	32,53	5,71	31,10	5,13	30,96	5,19	31,27	5,59

Tabela 3: Simulação D – Temperaturas máximas

Mês	Máx de EXTER.	Máx de SUITE	Máx de DIF. SUITE	Máx de QUARTO2	Máx de DIF. QUARTO2	Máx de QUARTO1	Máx de DIF. QUARTO1	Máx de SALA	Máx de DIF. SALA
Jan.	31,29	33,83	7,14	31,66	6,25	31,58	6,07	32,05	6,53
Fev.	31,30	34,19	6,33	32,21	5,58	32,10	5,47	32,58	6,01
Mar.	30,79	33,81	7,08	32,21	6,94	32,06	6,86	32,24	6,84
Abril	31,76	32,04	5,91	32,16	6,27	32,23	6,32	31,50	6,02
Maio	30,59	30,48	4,86	30,81	5,23	30,87	5,28	30,13	4,88
Junho	29,21	28,98	5,10	29,72	5,73	29,86	5,86	29,00	5,38
Julho	27,85	27,58	5,05	28,42	5,58	28,49	5,67	27,45	5,15
Agos.	27,60	28,95	5,00	28,97	5,56	29,04	5,60	28,37	5,02
Set.	28,84	29,92	5,93	29,48	5,92	29,50	6,02	29,38	6,08
Out.	28,66	30,61	5,81	29,66	5,46	29,55	5,39	29,77	5,47
Nov.	29,24	31,64	7,23	30,31	6,20	30,28	6,20	30,62	6,60
Dez.	30,08	32,40	5,86	31,00	5,33	30,96	5,33	31,29	5,64

A temperatura máxima interna do ambiente diminuiu com o bloco de 19 cm, porém a máxima diferença entre a temperatura interna do ambiente e externa aumentou, principalmente, durante o período da madrugada. A diferença não é tão grande, pois apenas aumentou 5 cm de espessura do bloco cerâmico, mas já é possível observar a alteração. Isso

se justifica porque o material em si fica mais isolante, dificultando a entrada do calor no ambiente interno. Porém, essa isolação prejudica quando a temperatura externa está menor que a interna. Logo, não adianta apenas isolar a edificação se não tiver troca de calor quando a temperatura externa estiver melhor.

Quando se realiza o método simplificado, esse fato não é analisado, porque só estuda o material em si, o sistema é isolado e não possui a influência de todo o conjunto. Ou seja, o método simplificado é essencial para analisar o material e suas propriedades, mas para estudar uma edificação é imprescindível o estudo completo por simulação computacional. Além disso, para simulação computacional do desempenho térmico a Norma de Desempenho não considera outras importantes fontes de calor, como as pessoas e os equipamentos, por exemplo.

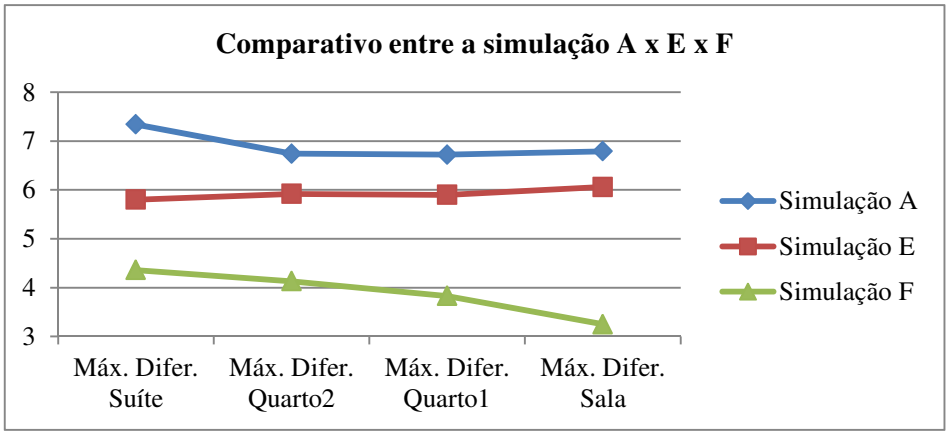
A simulação computacional E (Apêndice E), é similar a simulação A, porém sem as esquadrias externas. Os resultados apresentaram uma queda de aproximadamente 1,5ºC na suíte, no geral, pois na simulação A teve uma diferença maior de 7,3ºC e na simulação E foi de 5,8ºC. Os outros ambientes como o quarto 2, quarto 1, sala, apresentaram na maior diferença de temperatura no geral um declínio de 0,8ºC, 0,8ºC, 0,7ºC, respectivamente. Em razão disso, comprova a necessidade da simulação computacional, pois a simulação A apresentou a unidade habitacional de forma real, contendo todos os elementos que a constitui. Já nessa simulação E foram excluídos os elementos de composição da fachada, as esquadrias externas, que influenciam diretamente na incidência solar e, consequentemente, no desempenho térmico e qualidade que a edificação pode proporcionar aos usuários.

Na simulação F (Apêndice F) retirou-se influência dos ventos e da incidência solar direta da cobertura para analisar a interferência da mesma na temperatura interna dos ambientes de uso prolongado da unidade. Os resultados dessa simulação foram melhores em relação à simulação A, tanto para máxima diferença entre as temperaturas internas e externas quanto para a máxima de temperaturas internas e externas. Diminuiu-se, aproximadamente, no geral 3ºC na suíte, 2,6ºC no quarto 2, 2,9ºC no quarto 1, 3,5ºC na sala. Assim, mais uma vez é comprovada a contribuição no desempenho térmico da envoltória da edificação.

Se comparar a simulação F com a simulação E, sem as esquadrias externas, houve uma evolução geral de 100% na suíte, 225% no quarto 2, 263% no quarto 1 e 400% na sala. A sala por apresentar uma área maior da cobertura sofreu, consequentemente, uma maior vantagem ao se retirar à incidência solar da cobertura. Portanto, nessa edificação a cobertura apresenta uma maior contribuição do desempenho térmico da unidade, corroborando o estudo de caso

realizado por Rómero e Reis (2012). O Gráfico 19 expõe um comparativo entre os resultados da máxima diferença geral dos ambientes de uso prolongado das simulações A, E e F.

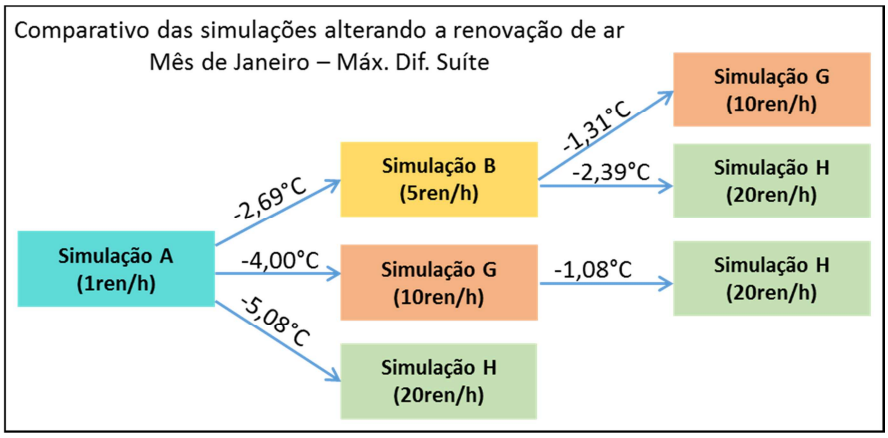
Gráfico 19: Comparativo geral entre a simulação computacional A x E x F



Por fim, foram realizadas a simulação G, com 10ren/h, e a simulação H, com 20ren/h. Embora a norma não sugira essas ventilações, o intuito dessas simulações era demonstrar que a troca de ar do externo e do ambiente interno também é um fator que influencia positivamente no desempenho térmico. Com isso, muitas vezes, apenas isolar a edificação ou trocar material não resolve, existem outros meios que favorecem a qualidade da edificação. Nesse caso, adotar uma janela com veneziana, poderia ser uma solução durante a madrugada que a temperatura externa é menor que a interna, favorecendo o fluxo e a troca de calor e evitando a utilização de equipamentos condicionadores de ar.

A Figura 12 mostra um comparativo da diferença máxima de temperatura da suíte no mês de Janeiro entre as simulações A (1 ren/h), B (5 ren/h), G (10 ren/h) e H (20 ren/h). Percebeu-se que a renovação de ar beneficia a temperatura, entretanto chegará um nível de renovação de ar que não haverá mais tanta diferença, pois da simulação A para a G o declínio foi de 4ºC e da G para a H foi de 1,08ºC.

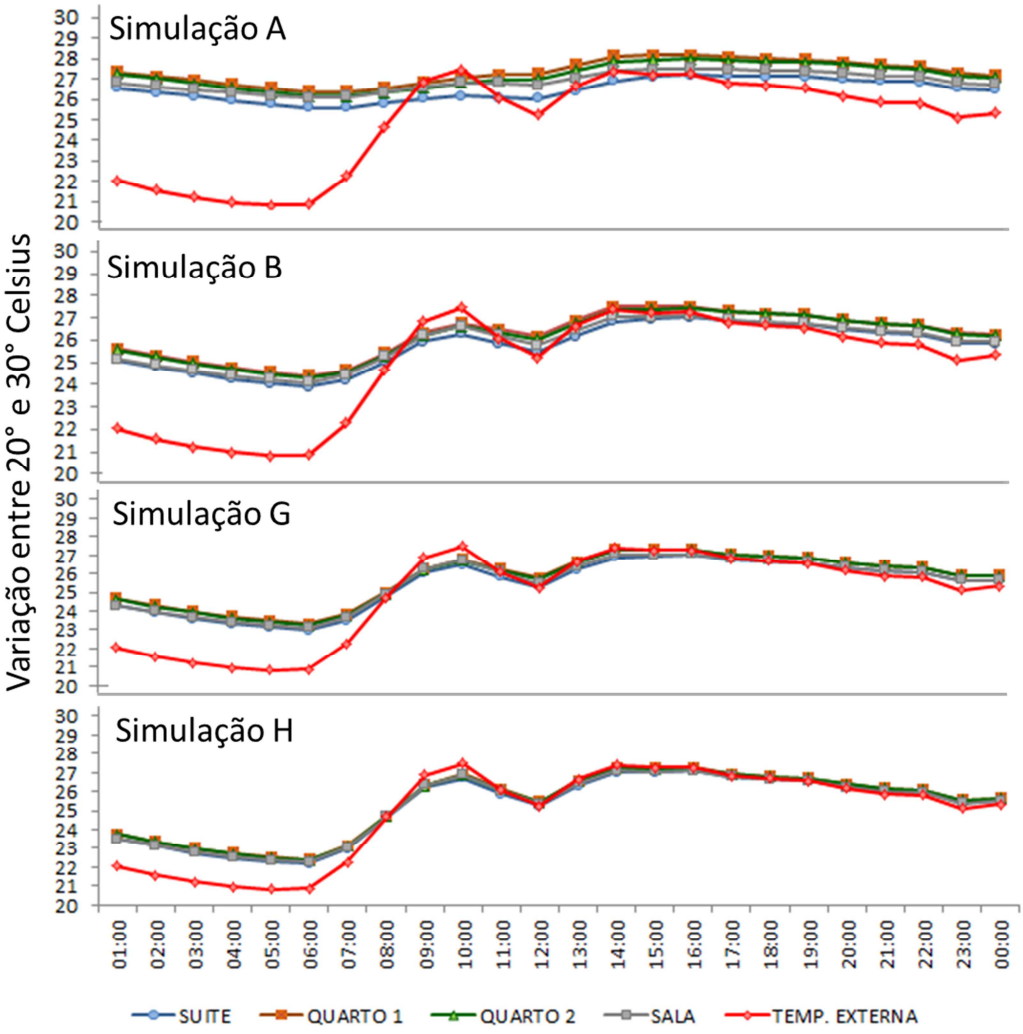
Figura 12: Comparativo das simulações A, B, G e H – ambiente: suíte / mês: Janeiro



Isso acontece quando o sistema está atingindo o equilíbrio e a depender do horário, caso a temperatura externa esteja muito elevada, a troca de ar pode não favorecer e até prejudicar a temperatura interna, deixando-a similar à externa, ou seja, tão quente quanto à temperatura de fora da unidade.

Outra análise dessas simulações A (1 ren/h), B (5 ren/h), G (10 ren/h) e H (20 ren/h) foi a partir da característica dos gráficos, onde as linhas que representam as temperaturas externas e internas dos ambientes durante as horas dos dias mais críticos dos meses oscilam de forma mais similar quando há uma maior troca de ar. A Figura 13 exibe quatro gráficos do dia 13 de Junho das simulações.

Figura 13: Comparativo dos gráficos das simulações A, B, G e H – data: 13 de Junho



Portanto, apesar da complexidade do levantamento das propriedades dos materiais, das análises dos resultados e da existência de algumas imprecisões, é imprescindível o estudo térmico dos elementos, componentes e sistemas com simulações da realidade para aperfeiçoar cada vez mais o cenário construtivo na região.

5 CONCLUSÃO

A cidade de Aracaju/SE apresenta um clima quente e úmido durante todo o ano e, com isso, é imprescindível a preocupação com o desempenho térmico que os ambientes internos das edificações devem proporcionar aos seus usuários, pois além do conforto térmico, isso favorece a eficiência energética de todo o conjunto, evitando o uso de condicionadores de ar para deixar os ambientes mais agradáveis e, consequentemente, beneficia a sustentabilidade do cenário da construção civil.

Diante dos resultados obtidos através das entrevistas realizadas, foi perceptível que as empresas construtoras e/ou incorporadoras locais não apresentam um padrão construtivo definido nos sistemas que compõem as envoltórias das edificações. Cada empresa apresenta peculiaridades nos elementos, quanto ao tipo, a espessura ou até a composição das camadas dos elementos constituintes dos sistemas construtivos das envoltórias. Além disso, evidenciou-se que as empresas não priorizam os critérios de desempenho térmico para definição dos materiais da composição da envoltória e das aberturas de janelas e de portas das fachadas. Isso dificultou a determinação dos sistemas mais utilizados nas envoltórias das edificações residenciais multipiso da cidade.

Portanto, para poder realizar o estudo de caso do presente trabalho, foi preciso definir um “padrão” representativo dos elementos e composições mais utilizadas nas envoltórias das edificações residenciais multipiso nos resultados obtidos por meio das entrevistas.

Em relação à importância à Norma de Desempenho, NBR 15575/2013, o cenário construtivo local ainda precisa evoluir na questão da preocupação e atendimento, principalmente, no foco do desempenho térmico que as envoltórias das edificações precisam proporcionar aos usuários. Esse aspecto está crescente devido à obrigatoriedade da norma, porém ainda precisa ser otimizado. Já no ponto ao atendimento a eficiência energética, as empresas precisam começar a pensar em todo o conjunto, pois como esse item ainda não é exigido e não proporciona benefícios, como o lucro, as empresas não visam o seu atendimento.

Com o estudo de caso empregando o “padrão” dos materiais das envoltórias através do método simplificado, com cálculos normativos, foi mostrado que tanto o sistema utilizado nas paredes externas, fachadas, quanto o da cobertura apresentaram um desempenho térmico mínimo exigido pela NBR 15575/2013.

Entretanto, ao realizar o método de simulação computacional, aplicando as mesmas composições na unidade habitacional considerada a mais crítica de uma edificação representativa da cidade de Aracaju/SE, não se obteve o mesmo sucesso que no método simplificado, pois não atingiu o desempenho térmico mínimo nos cômodos de uso prolongado. Logo, constatou-se diferença entre os resultados obtidos pelos método simplificado e de simulação computacional, pois o último não analisa apenas os materiais, mas também engloba a influência que todo o conjunto arquitetônico proporciona e utiliza os dados climáticos locais disponíveis que interferem diretamente nos resultados finais.

Evidenciou-se ainda que ao se alterar valores de trocas de ar nos ambientes, principalmente, nos períodos onde a temperatura externa está mais amena, favorece ao desempenho térmico interno. Outros artifícios como acrescentar sombreamento ou elementos isolantes nas envoltórias também beneficia o desempenho térmico da edificação. Além disso, o estudo mostrou que a cobertura apresenta uma maior contribuição na carga térmica da edificação, assim, pode-se pensar em aplicar materiais isolantes nesse componente da edificação.

Com isso, espera-se que o atendimento ao desempenho térmico mínimo seja alcançado ao se desenvolver projetos e especificações voltados para a melhor qualidade térmica das envoltórias em edificações residenciais multipiso na cidade de Aracaju/SE e região, favorecendo o conforto térmico do usuário e a eficiência térmica do conjunto.

Portanto, essa dissertação acrescenta informações, experiências e valores que podem servir como fonte de pesquisa sobre o assunto abordado para outros trabalhos. Outrossim, pode criar expectativas e projeções para novas pesquisas, como o desenvolvimento de um estudo de todos os sistemas das envoltórias utilizadas ou descoberta de materiais sustentáveis que podem ser aplicados nas envoltórias, a fim de aperfeiçoar o processo evolutivo de aplicação da Norma de Desempenho nas edificações na cidade de Aracaju/SE. Esse fato pode favorecer não só aos usuários e as empresas locais, mas também a sustentabilidade local.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações, Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações, Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-4**: Desempenho térmico de edificações, Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro, 2005d.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-5**: Desempenho térmico de edificações, Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico. Rio de Janeiro, 2005e.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho, Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4:** Edificações habitacionais – Desempenho, Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013b.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho, Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013c.

ADDIS, Bill. **Edificação:** 3000 anos de projeto, engenharia e construção. Bill Addis: tradução Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2009. 640 p. ISBN 978-85-7780-363-7

ARANTES, Beatriz; LABAKI, Lucila Chebel. Fachadas sazonalmente adaptáveis: mapeamento sistemático da literatura. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2016.

BAVARESCO, Mateus Vinícius. *et al*. **Classificação de climas brasileiros empregada na atualização dos regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações.** 2017. Relatório desenvolvido pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2017.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil.** 2008. 263p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2008.

BRASIL. Instrução Normativa nº. 2, de 4 de junho de 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. **Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão.** Secretaria de Logística e tecnologia da informação. Disponível

em: < http://licitacoes.ufsc.br/files/2014/10/IN-SLTI-MPOG-n.%C2%BA-02-2014-Uso-da-etiqueta-de-consumo-de-energia.pdf>. Acesso em: 09 de dezembro de 2017.

BRASIL. Decreto nº. 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. **Diário Oficial da União,** Brasília, DF, 19 de dezembro de 2001a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/d4059.htm. Acesso em: 09 de dezembro de 2017.

BRASIL. Lei nº 10.295, 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Palácio do Planalto Presidência da República,** Brasília, 17 de outubro de 2001b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm. Acesso em: 10 de setembro de 2017.

BRITO, Adriana Camargo. *et al*. Contribuições Para o Aprimoramento da NBR 15575 Referente ao Método Simplificado de Avaliação de Desempenho Térmico de Edifícios. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., Juiz de Fora, 2012. **Anais [...]**. Porto Alegre: ENTAC, 2012.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-residenciais.** 2008. 215p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC). Universidade Federal de Santa Catarina. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2008.

CARNEIRO, Luiza Buccini; FIGUEIREDO, Dalmo Lúcio M.; SANTOS, White José dos. **O sistema de fachadas ventiladas:** análises e especificação. 2015. 62p. Monografia (Especialização em Construção Civil). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Curso de Especialização em Construção Civil. Belo Horizonte, 2015.

CALLISTER, William D. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais:** uma abordagem integrada. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2006. 702 p. ISBN 8521615159.

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de edificações habitacionais:** guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. 2ed. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. 308p.:il.

CBIC Brasil. **Workshop da Revisão da Norma de Desempenho quanto ao desempenho térmico e lumínico.** Brasília: CBIC Brasil, 2018a. Facebook: Painel 1 - Requisitos e critérios da ABNT NBR 15575 quanto ao desempenho térmico e lumínico e a experiência de aplicação em empreendimentos residenciais. Painel 2 - Necessidades de aperfeiçoamento dos requisitos e critérios de desempenho térmico. Parceria com o Senai Nacional. (132min). Disponível em: https://www.facebook.com/cbicbrasil/videos/2050144698563237/ . Acesso em: 10 de abril de 2018.

CBIC Brasil. **Workshop da Revisão da Norma de Desempenho quanto ao desempenho térmico e lumínico.** Brasília: CBIC Brasil, 2018b. Facebook: Painel 3 - Necessidades de aperfeiçoamento dos requisitos e critérios de desempenho lumínico. Parceria com o Senai Nacional. (109min). Disponível em: https://www.facebook.com/cbicbrasil/videos/2050234191887621/. Acesso em: 10 de abril de 2018.

CBIC Brasil. **Workshop da Revisão da Norma de Desempenho quanto ao desempenho térmico e lumínico.** Brasília: CBIC Brasil, 2018c. Facebook: Painel 4 - Síntese das necessidades de revisão apontadas. Parceria com o Senai Nacional. (36min). Disponível em: https://www.facebook.com/cbicbrasil/videos/2050334155210958/. Acesso em: 10 de abril de 2018.

CHVATAL, Karin Maria Soares. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído.** Porto Alegre. v.14, n.4. p. 119-134, out./dez. 2014.

CIB World – *International Council for Research and Innovation in Building and Construction.* ***About CIB***. Disponível em: http://www.cibworld.nl/site/about_cib/index.html. Acesso em: 16 de julho de 2017.

CORREA, Celina Britto. Arquitetura bioclimática: adequação do projeto de arquitetura ao meio ambiente natural. **Revista Drops,** São Paulo, ano 02, n. 004.07, Vitruvius, abr. 2002. Disponível em: http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/02.004/1590. Acesso em: 31 de outubro de 2018.

COTTA, Ana Cláudia; ANDERY, Paulo Roberto Pereira. A norma de desempenho e as alterações no processo de projeto das empresas construtoras de pequeno e médio porte. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2016.

COTTA, João Oliveira; VIEIRA, João Leal. O desempenho térmico de ambientes de trabalho nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. *In:* GONÇALVES, Joana Carla Soares; BODE, Klaus (org.). **Edifício Ambiental.** São Paulo: Oficina de textos, 2015. p. 81-101. ISBN 978-85-7975-130-1.

EMURB – Empresa Municipal de Obras e Urbanização. Divisão de Licenciamento Multiresidencial – DLM – Condomínio Vertical. Prefeitura do Município de Aracaju, 2011. Disponível em: http://www.aracaju.se.gov.br/userfiles/emurb/2011/02/DLM_Normas_CondominioVertical.pdf. Acesso em: 03 de julho de 2017.

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanço Energético 2017**: ano base 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017. 292 p.: 182 il.: 23cm. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/benrelatoriosintese.aspx. Acesso em: 02 de maio de 2018.

FOLIENTE, Greg. Stakeholder engagement in the performance approach – the Australian and European. Performance based building networks. *In:* CLIENTS DRIVING INNOVATION CONFERENCE, 2004. ***Proceedings*** **[...].** 2004. Disponível em: http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB1442.pdf. Acesso em: 09 de maio de 2018.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo.** 5ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. ISBN 85-85445-39-4.

GHISI, Enedir. TINKER, John A. IBRAHIM, Siti Halipah. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n.4, p. 81-93, out./dez. 2005.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 6 ed. São Paulo: Atlas, 2017. ISBN 978-85-97-01261-3.

GOIA, F. *et al*. Towards an active, responsive, and solar building envelope. **Journal of Green Building**, v. 5, p. 121-136, 2010.

GONÇALVES, Helder. GRAÇA, João Mariz. **Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal.** Lisboa: Tipografia Peres, 2004. ISBN 972-8268-34-3.

GONÇALVES, Joana Carla Soares. *et al.* Avaliação de desempenho, simulação computacional e o projeto arquitetônico. *In:* GONÇALVES, Joana Carla Soares; BODE, Klaus (org.). **Edifício Ambiental.** São Paulo: Oficina de textos, 2015. p. 297-312. ISBN 978-85-7975-130-1.

IEA. International Energy Agency. Member countries. 2018. Disponível em:

https://www.iea.org/countries/membercountries/. Acesso em: 10 de maio de 2018.

ISO. International Organization for Standardization. 2018. Disponível em: https://www.iso.org/home.html. Acesso em: 09 de maio de 2018.

KNAACK, Ulrich. *et al.* **Façades:** principles of construction. 1ª ed. Berlin: Medialis, 2007. 135p.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014. 382 p.

LAUSTSEN, Jens. **Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings.** International Energy Agency (IEA). Paris: Head of Communication and Information Office, 2008. 85p.

LEE, W. L.; YIK, F.W.H. Regulatory and voluntary approaches for enhancing building energy efficiency. **Progress in Energy and Combustion Science.** v. 30, p. 477-499, 2004.

LOURA, Rejane Magiag; ASSIS, Eleonora Sad; BASTOS, Leopoldo Eurico Gonçalves. Análise Comparativa Entre Resultados de Desempenho Térmico de Envoltórias de Edifício Residencial Gerados Por Diferentes Normas Brasileiras. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., Búzios, 2011. **Anais [...]**. Búzios: ANTAC, 2011.

MARQUES, Tássia Helena Teixeira; CHVATAL, Karin Maria Soares. A Review of the Brazilian NBR15575 Norm: applying the simulation and simplified methods for evaluating a social house thermal performance. *In:* SYMPOSIUM ON SIMULATION FOR ARCHITECTURE AND URBAN DESIGN, 4., San Diego, CA, 2013. ***Proceedings*** **[...]**. San Diego, 2013.

MENDES, Nathan. *et al.* Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído.** Porto Alegre. v.5, n.4. p 47-68, 2005.

OKAMOTO, Patricia Seiko; MELHADO, Silvio Burrattino. A norma brasileira de desempenho e o processo de projeto de empreendimentos residenciais. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XV. 2014, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: ENTAC, 2014. Disponível em: http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_244.pdf. Acesso em: 06 de maio de 2018.

ORDENES, Martín. *et al.* **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no visualdoe-3.1.** 2003. 19p. Relatório Interno - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2003.

PAPST, Ana Lígia. **Uso de Inércia térmica no clima subtropical.** Estudo de caso em Florianópolis – SC. 1999. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 1999.

PBE Edifica. **O que é a etiqueta PBE Edifica?** Procel Edifica e Programa Brasileiro de Etiquetagem, 2017. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica. Acesso em: 07 de junho de 2018.

PEDRINI, Aldomar. *et al.* Análise comparativa da eficiência energética de envoltórias segundo o regulamento de etiquetagem de edifícios. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XIII. 2010, Canela. **Anais [...]**. Canela: ENTAC, 2010. Disponível em: http://www.infohab.org.br/entac2014/2010/arquivos/524.pdf. Acesso em: 10 de setembro de 2017.

PINTO, Tales dos Santos. **O apagão energético de 2001.** Brasil Escola, 2001. Disponível em: http://brasilescola.uol.com.br/historiab/apagao.htm. Acesso em: 10 de setembro de 2017.

PROCEL Info. **Diretrizes para obtenção de classificação nível A para edificações residenciais –** Zona Bioclimática 8. Brasil, 2018a. Disponível em: http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={82BBD82C-FB89-48CA-98A9-620D5F9DBD04}. Acesso em: 17 de junho de 2018.

PROCEL Info. **Edificações.** Brasil, 2018b. Disponível em: http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={82BBD82C-FB89-48CA-98A9-620D5F9DBD04}. Acesso em: 15 de junho de 2018.

PROCEL Info. **Etiquetagem em Edificações.** Brasil, 2018c. Disponível em: http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}. Acesso em: 08 de março de 2018.

PROCEL Info. **Manual para aplicação do RTQ-R.** v. 1. Brasil, 2018d. Com base na Portaria nº 18/2012. Disponível em: http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={02A05065-372B-4133-B054-4369D8F37B3F}#2. Acesso em: 08 de março de 2018.

PROCEL Info. **O Programa.** Brasil, 2018e. Disponível em http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD}. Acesso em: 15 de junho de 2018.

PROCEL Info. **Selo Procel Edificações.** Brasil, 2018f. Disponível em http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C}. Acesso em: 08 de março de 2018.

PROCEL Info. **Selo Procel Edificações:** Qual a diferença entre Selo Procel Edificações e Etiqueta PBE Edifica? Brasil, 2018g. Disponível em http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={E85A0ACC-8C62-465D-9EBD-47FF3BAECDAE}#1. Acesso em: 08 de março de 2018.

RAMOS, Jussara Grosch Ludgero. *et al*. Análise das propriedades termo físicas das envoltórias de edificações residenciais: aperfeiçoamento dos parâmetros padronizados. *In:* CONGRESSO INTERDISCIPLINAR DE PEQUISA, INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO, I., 2016, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix, 2016.

REBELLO, Yopanan; LEITE, Maria Amélia D'Azevedo. As primeiras moradias. **Revista AU**, São Paulo, ed. 161, agosto de 2007. Disponível em: http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/161/artigo58415-1.aspx. Acesso em: 18 de junho de 2017.

RIBEIRO, Rafaella Larissa Santos. **Ações devidas ao clima sobre os materiais de construção em regiões tropicais.** 2013. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife, 2013.

ROMÉRO, Marcelo de Andrade; REIS, Lineu Belico dos. **Eficiência energética em edifícios.** 1. ed. Barueri: Manole, 2012. (Série sustentabilidade/coordenador Arlindo Philippi Jr.). ISBN 978-85-204-3079-8.

SANTOS, Débora de Gois. *et al.* Desempenho de edificações residenciais: projetistas e empresas construtoras. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2016.

SCHELLER, Camila. *et al*. **Análise dos arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações.** 2015. 217p. Relatório Interno - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2015.

SEBRAE. **Eficiência Energética.** 2ed. Cuiabá: Sebrae, 2015. 44p.:el. Color. ISBN: 978-85-7361-063-5.

SINAENCO. Sindicato Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultiva. **Os impactos da Norma de Desempenho no Setor da Arquitetura e Engenharia Consultiva.** São Paulo, julho de 2015. 58 p. Disponível em: http://sinaenco.com.br/wp-content/uploads/2016/08/OsIimpactosdaNormadeDesempenho.pdf. Acesso em: 04 de maio de 2018.

SORGATO, Marcio José. **A Influência do Comportamento do usuário no desempenho térmico e energético de edificações residenciais.** 2015. 260p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2015.

SOUZA, Roberto de. **O conceito de desempenho aplicado as Edificações.** São Paulo, 2015, 52p. Disponível em: http://cte.com.br/livro-desempenho/. Acesso em: 18 de junho de 2017.

WEBER, Fernando da Silva. *et al*. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa *EnergyPlus*.** 2017. 52p. Relatório Interno - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2017.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO: NBR 15575: Desempenho térmico das envoltórias de edificações residenciais multipiso em Aracaju/SE

NBR 15575: DESEMPENHO TÉRMICO DAS ENVOLTÓRIAS DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS MULTIPISO EM ARACAJU/SE

Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil na linha de pesquisa Gestão e Meio Ambiente

ALUNA: Mestranda Andrea Carla Peixoto Filgueiras

ORIENTADORA: Profª. Drª Carla Fernanda B. Teixeira

COORIENTADORA: Profª. Drª Débora de Gois Santos

QUESTIONÁRIO

PROJETO E OBRA

1. Quais são os critérios adotados para especificar os materiais da composição da envoltória (fachada e cobertura) dos empreendimentos residenciais multipiso na empresa?

   ☐ Desempenho térmico ☐ Custo ☐ Relação com o fornecedor (confiabilidade)

   ☐ Durabilidade ☐ Estética ☐ Comercialização (disponibilidade)

   ☐ Manutenibilidade ☐ Segurança ☐ Porte/padrão do empreendimento

   ☐ Sustentabilidade ☐ Estanqueidade ☐ Legislação local

   ☐ Outros:_____

2. As pessoas envolvidas na especificação dos materiais da envoltória possuem o conhecimento técnico na Norma de Desempenho com foco no desempenho térmico?

   ☐ Sim ☐ Não

3. Quais são os sistemas construtivos utilizados na composição da fachada e da cobertura dos empreendimentos residenciais da construtora?

   Fachada

   ☐ Alvenaria de vedação: ☐ bloco cerâmico ☐ bloco concreto

   ☐ Alvenaria estrutural: ☐ bloco cerâmico ☐ bloco concreto

   ☐ Placas pré-moldadas de concreto maciço

   ☐ Em madeira

   ☐ Em ACM (alumínio composto)

   ☐ Em pele de vidro

   ☐ Outros:_____

   Cobertura

   ☐ Laje maciça: ☐ impermeabilizada ☐ com forro ☐ telha de fibrocimento

   ☐ telha metálica ☐ telha cerâmica ☐ telhado verde ☐ estr. metálica c/ policarbonato acrílico/vidro

   ☐ Laje nervurada: ☐ impermeabilizada ☐ com forro ☐ telha de fibrocimento

☐ telha metálica ☐ telha cerâmica ☐ telhado verde ☐ estr. metálica c/ policarbonato acrílico/vidro

☐ Laje pré-moldada: ☐ impermeabilizada ☐ com forro ☐ telha de fibrocimento

☐ telha metálica ☐ telha cerâmica ☐ telhado verde ☐ estr. metálica c/ policarbonato acrílico/vidro

☐ Laje impermeabilizada (sem telha)

☐ Telha cerâmica com forro (sem laje)

☐ Outros:_____

4. A empresa poderia detalhar o padrão mais utilizado da composição da fachada e da cobertura dos empreendimentos residenciais? (materiais e espessuras – ambiente interno ao externo)
_____
_____
_____
_____

5. Em relação à orientação da edificação no terreno, quais são os critérios utilizados, além dos requisitos da prefeitura local?
_____
_____

6. Em relação ao dimensionamento e ao material utilizado nas aberturas de janelas e portas das fachadas, quais são os critérios para especificação?

☐ Desempenho térmico ☐ Custo ☐ Relação com o fornecedor (confiabilidade)

☐ Durabilidade ☐ Estética ☐ Comercialização (disponibilidade)

☐ Manutenibilidade ☐ Segurança ☐ Porte/padrão do empreendimento

☐ Sustentabilidade ☐ Estanqueidade ☐ Legislação local

☐ Outros:_____

NORMA

7. Antes da Norma de Desempenho (NBR 15.575) a empresa já se preocupava com o desempenho térmico dos empreendimentos? Caso positivo, quais eram os critérios?

☐ Sim ☐ Não
_____
_____

8. Após a Norma de Desempenho (NBR 15.575), houve alguma mudança na etapa de desenvolvimento de projetos para adequação ao desempenho térmico? Caso positivo, quais foram?

☐ Sim ☐ Não
_____
_____

9. Em relação à eficiência energética dos empreendimentos residenciais, a empresa adota alguma medida para atender? Caso positivo, quais são?

   ☐ Sim ☐ Não

   _____
   _____

10. A empresa possui alguma certificação de eficiência energética nos empreendimentos residenciais? Caso positivo, quais são?

    ☐ Sim ☐ Não

    _____
    _____

11. Caso a empresa não possua nenhuma certificação, qual seria a justificativa para nunca terem optado em adquirir uma certificação em eficiência energética dos empreendimentos?

    _____
    _____

APÊNDICE B – Gráficos dos resultados da simulação computacional B

Gráfico 20: Simulação computacional B – 19 de Janeiro

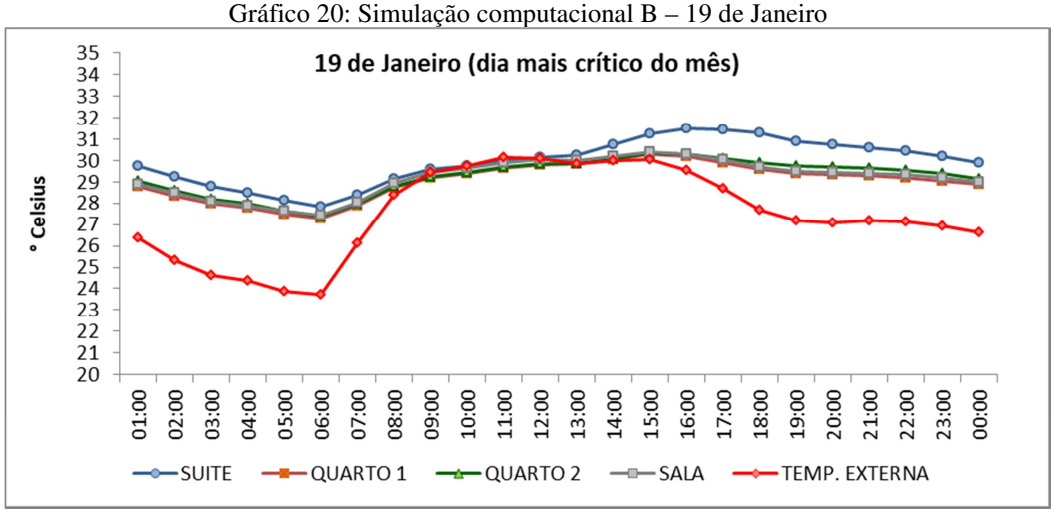


Gráfico 21: Simulação computacional B – 12 de Fevereiro

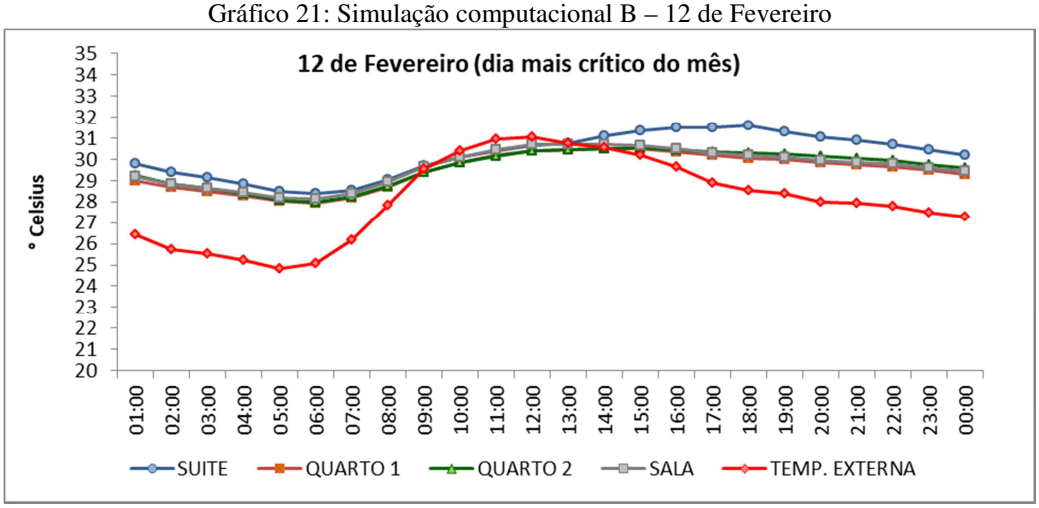


Gráfico 22: Simulação computacional B – 29 de Março

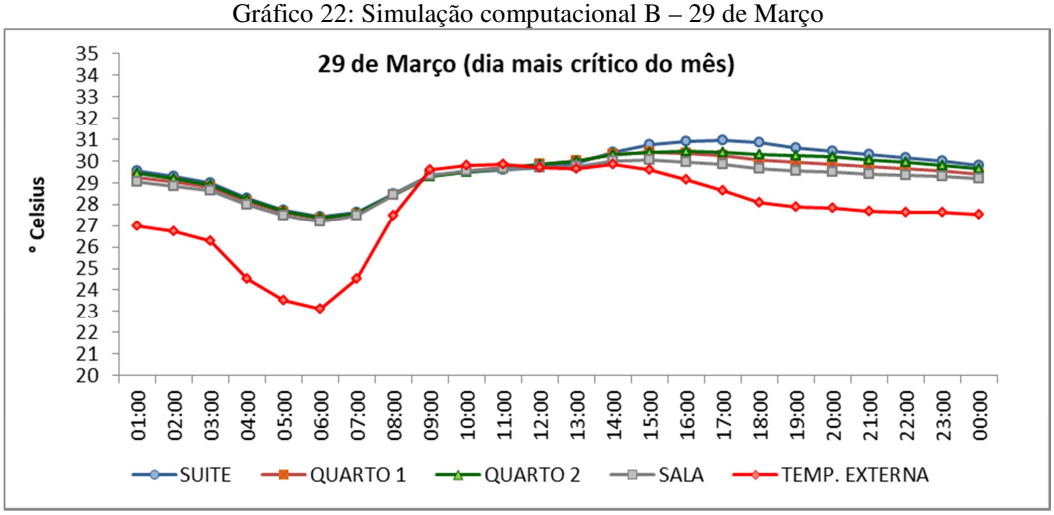


Gráfico 23: Simulação computacional B – 18 de Abril

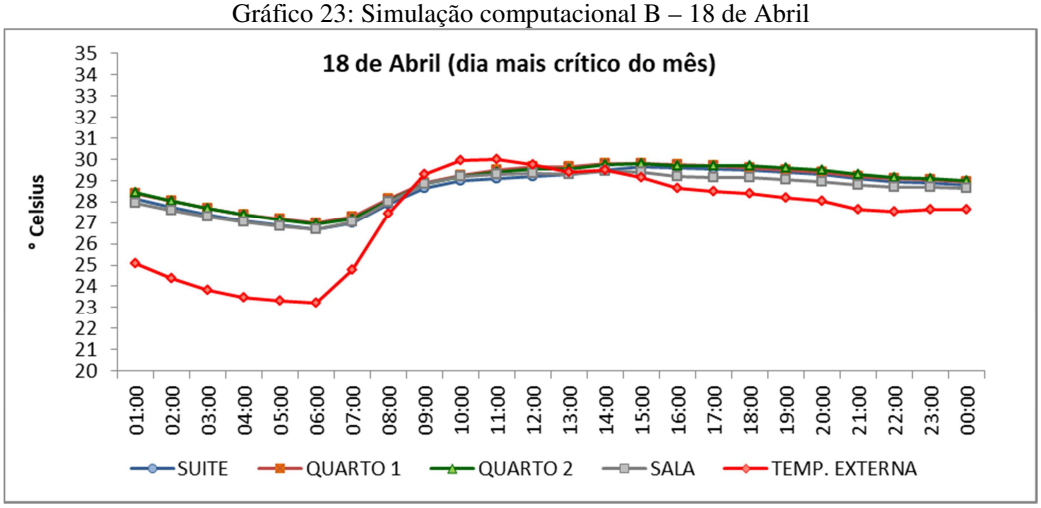


Gráfico 24: Simulação computacional B – 02 de Maio

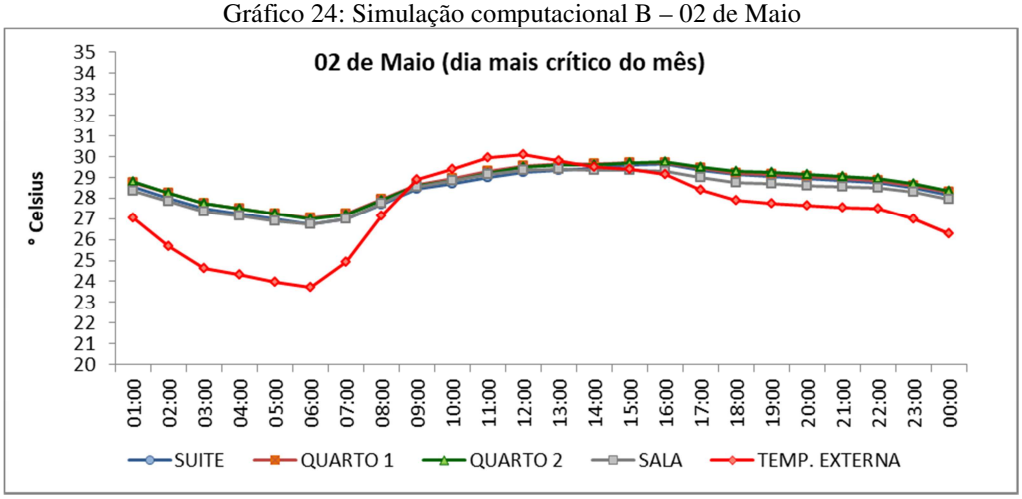


Gráfico 25: Simulação computacional B – 13 de Junho

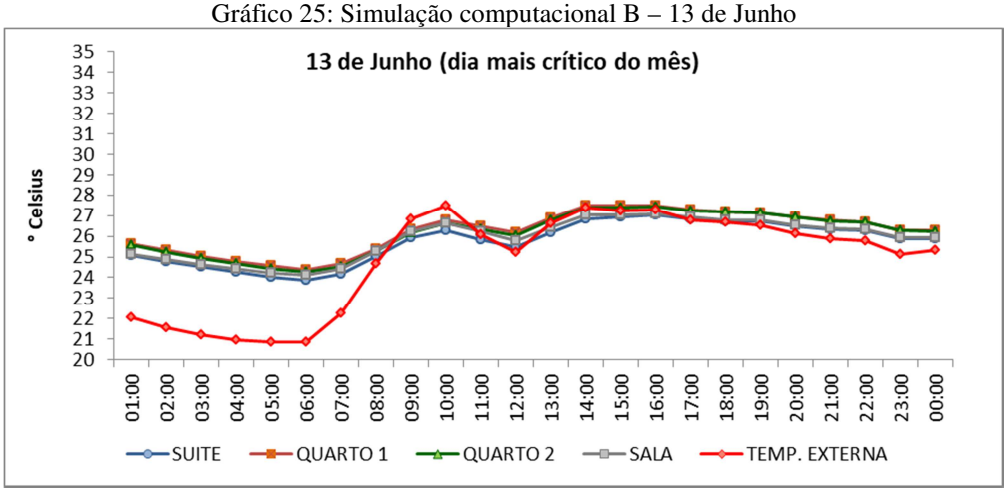


Gráfico 26: Simulação computacional B – 30 de Julho

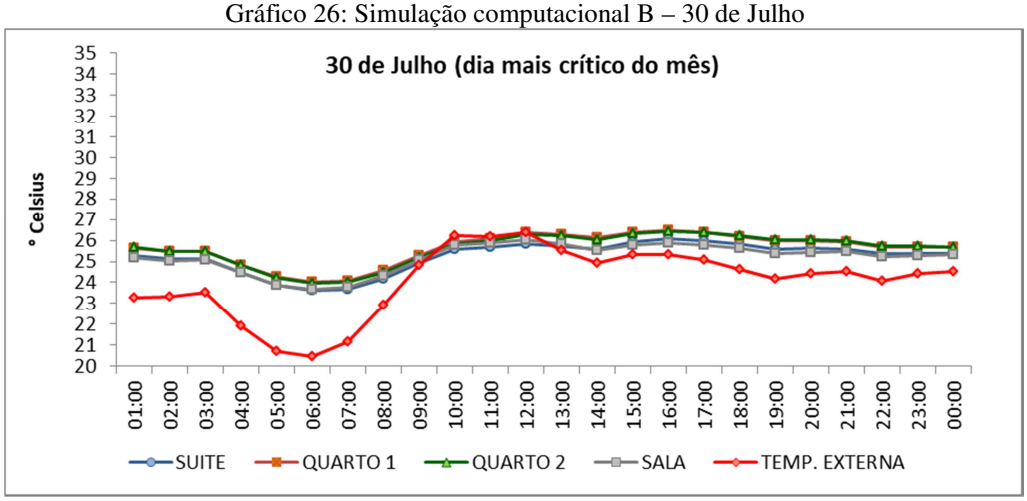


Gráfico 27: Simulação computacional B – 07 de Agosto

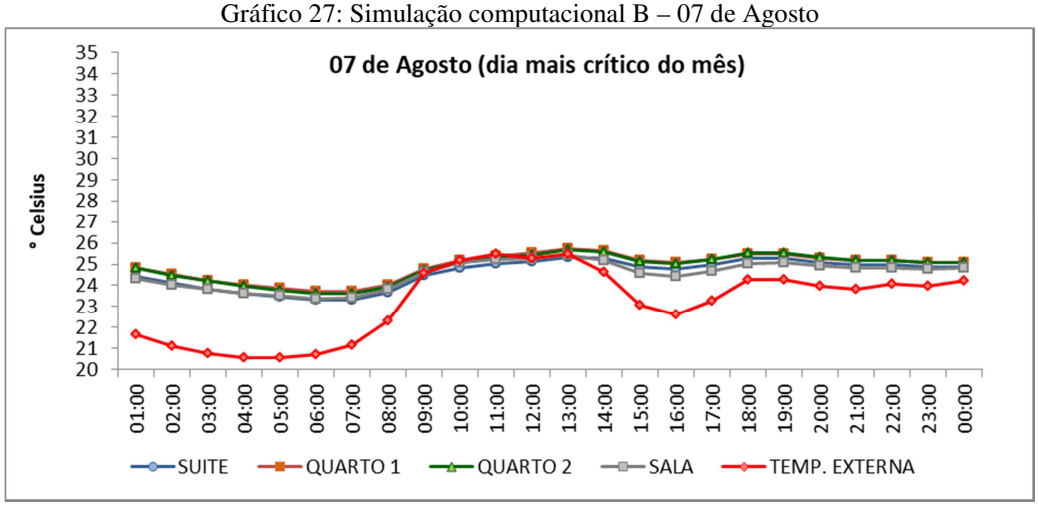


Gráfico 28: Simulação computacional B – 26 de Setembro

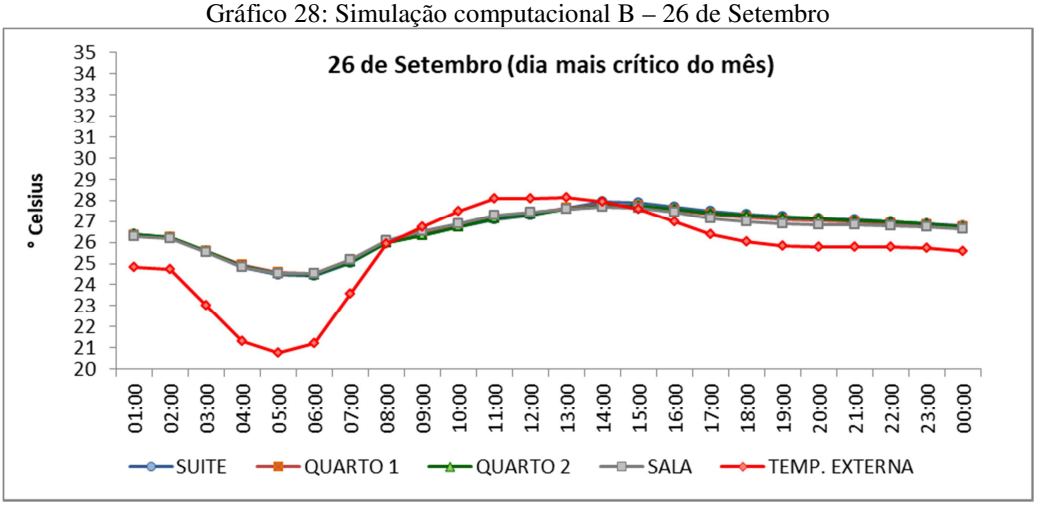


Gráfico 29: Simulação computacional B – 15 de Outubro

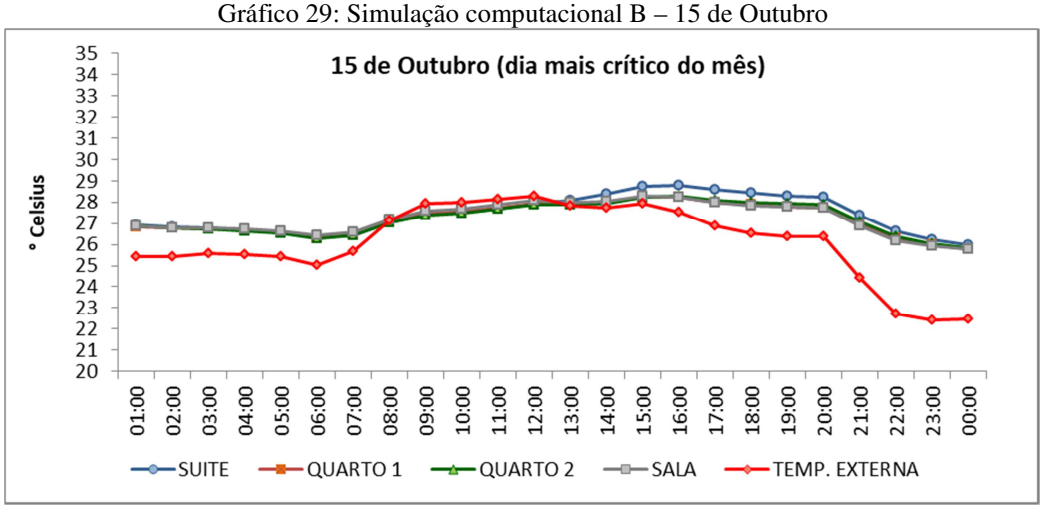


Gráfico 30: Simulação computacional B – 16 de Novembro

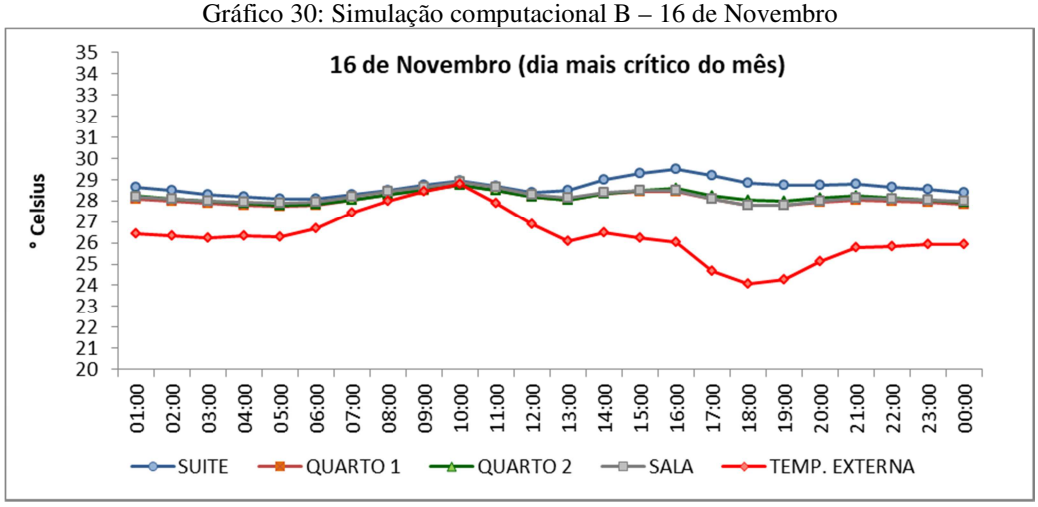
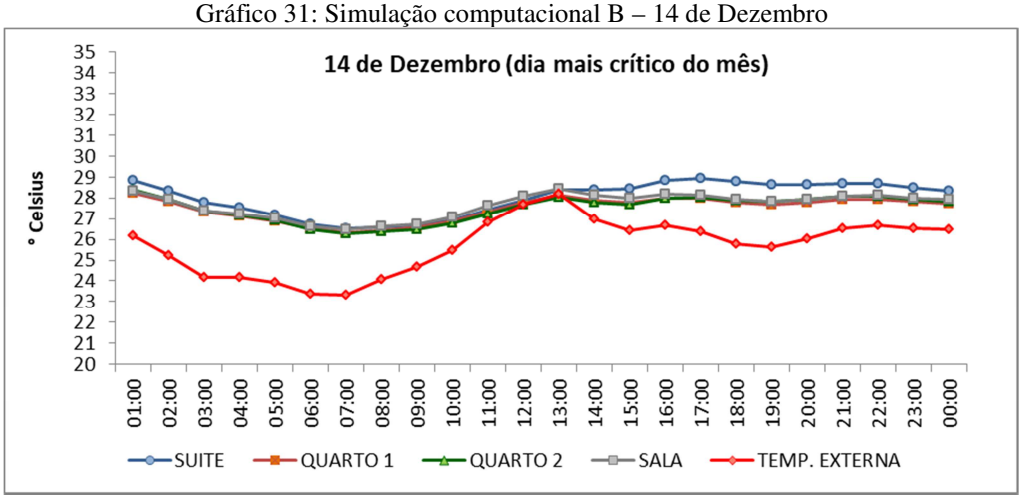


Gráfico 31: Simulação computacional B – 14 de Dezembro



APÊNDICE C – Gráficos dos resultados da simulação computacional C

Gráfico 32: Simulação computacional C – 19 de Janeiro

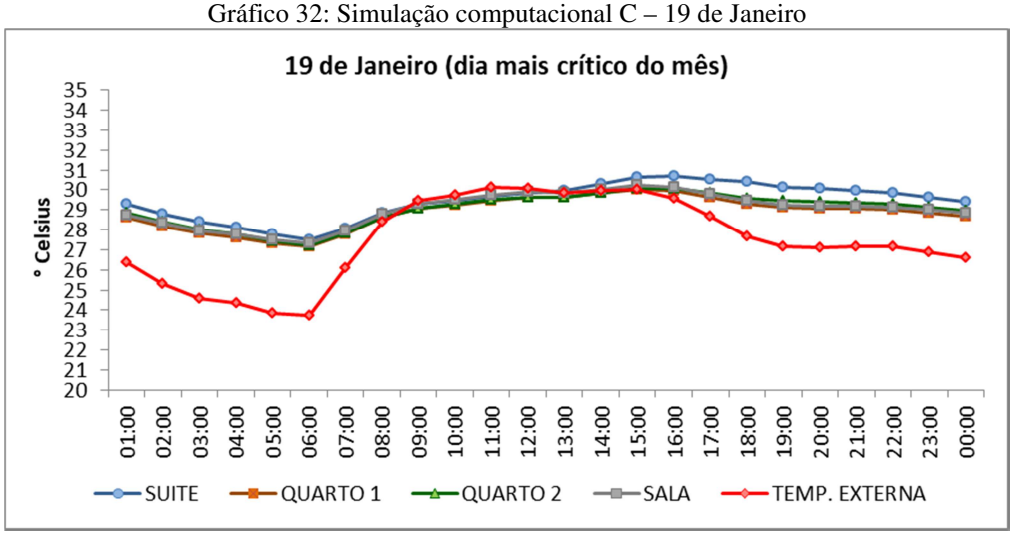


Gráfico 33: Simulação computacional C – 12 de Fevereiro

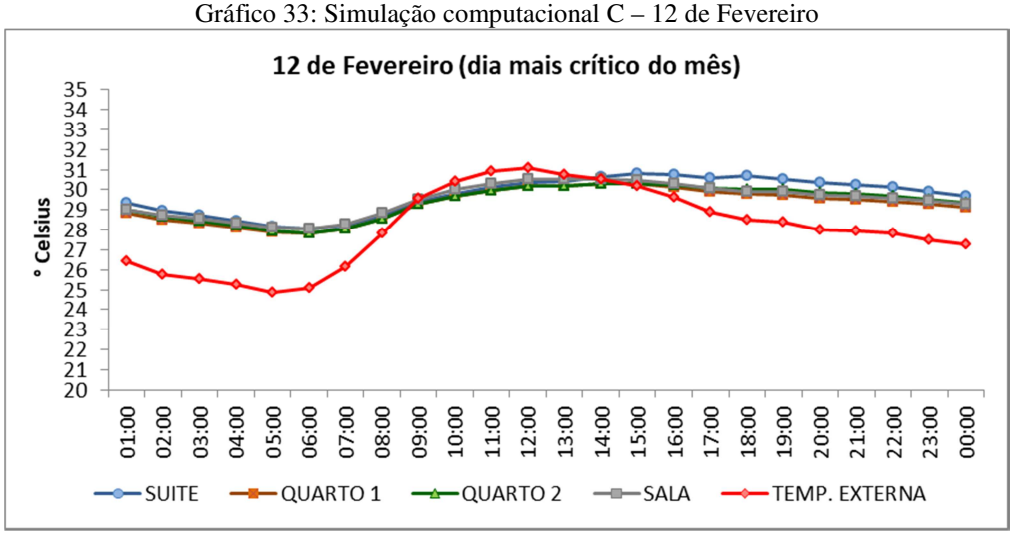


Gráfico 34: Simulação computacional C – 29 de Março

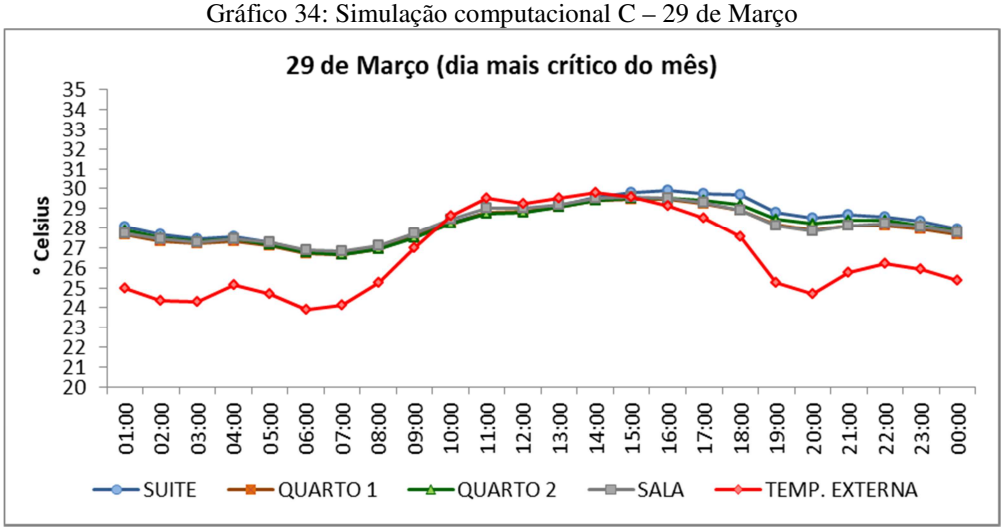


Gráfico 35: Simulação computacional C – 18 de Abril

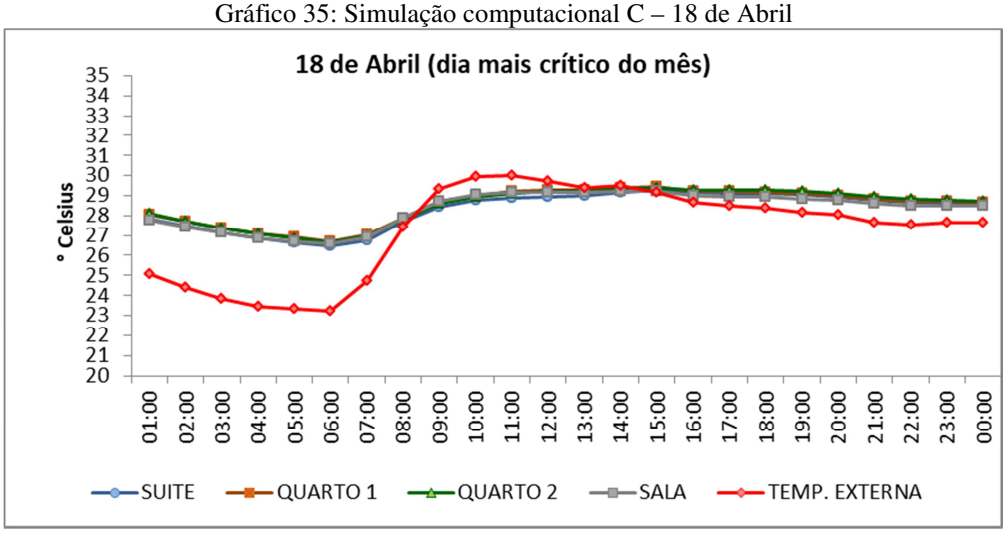


Gráfico 36: Simulação computacional C – 02 de Maio

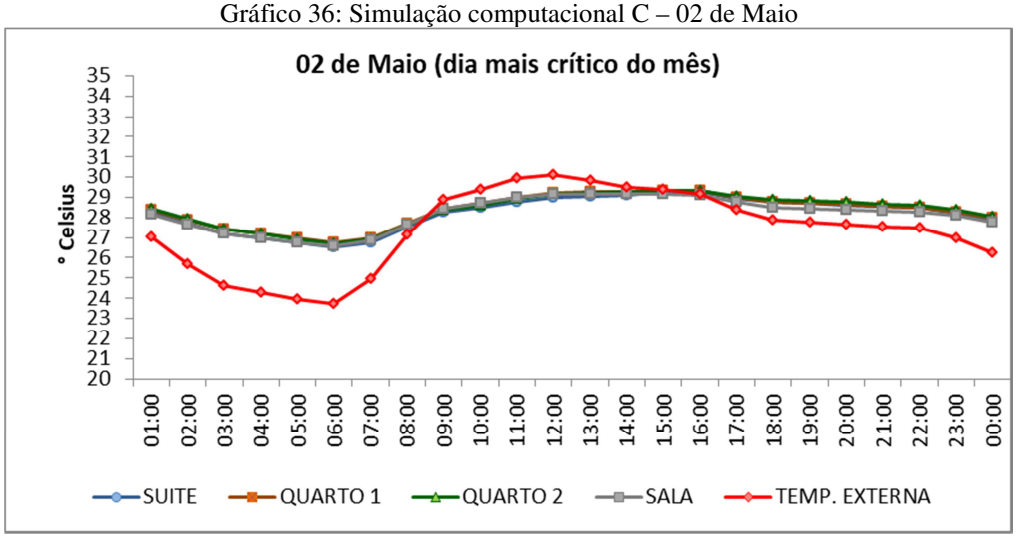


Gráfico 37: Simulação computacional C – 13 de Junho

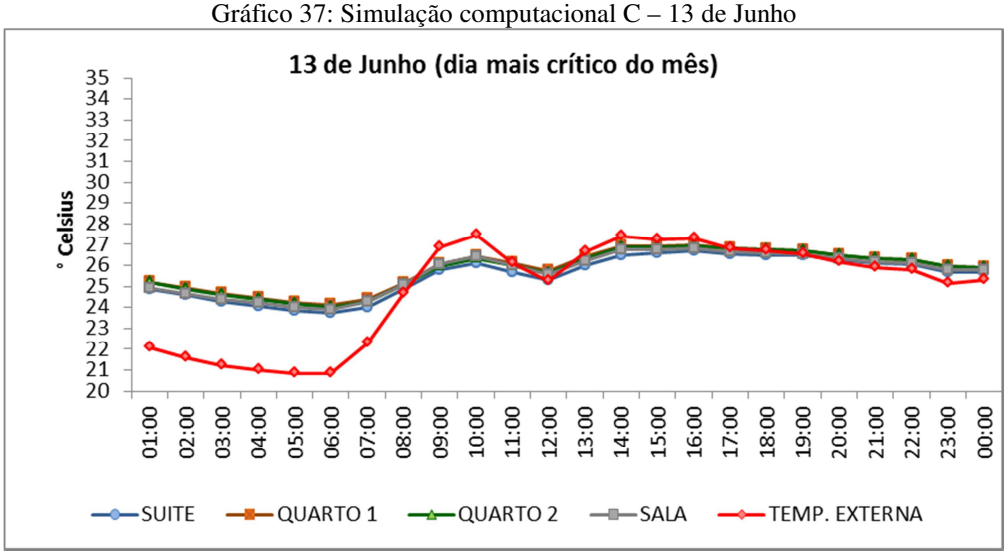


Gráfico 38: Simulação computacional C – 30 de Julho

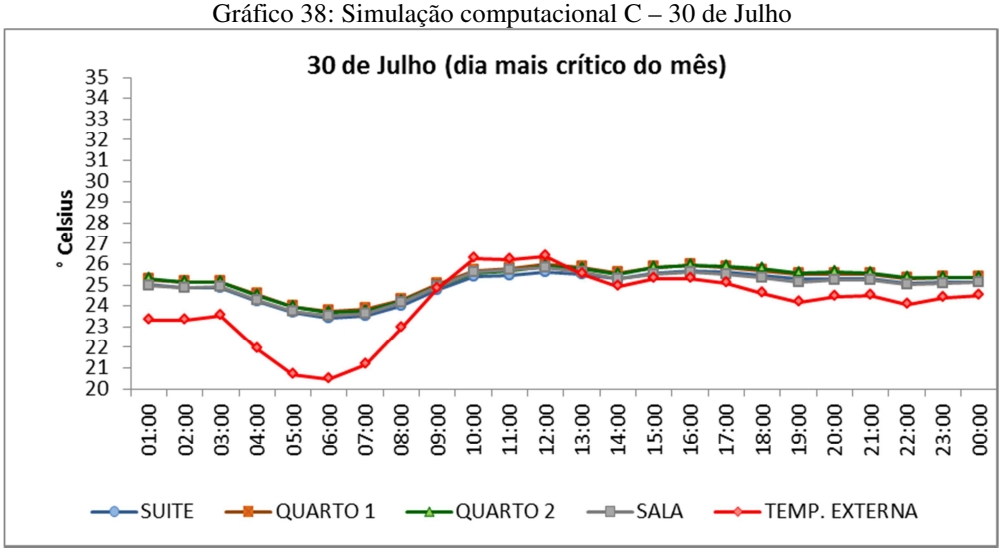


Gráfico 39: Simulação computacional C – 07 de Agosto

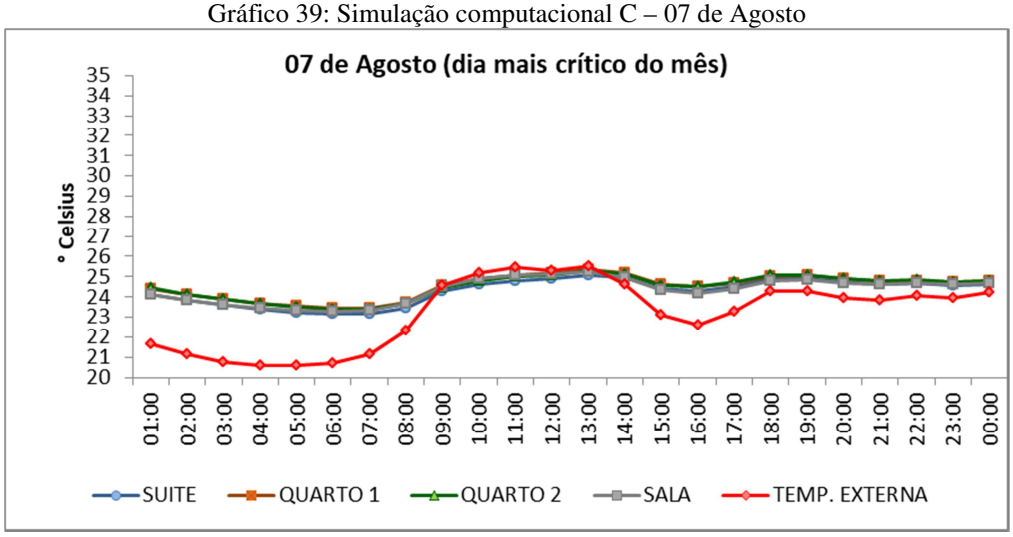


Gráfico 40: Simulação computacional C – 26 de Setembro

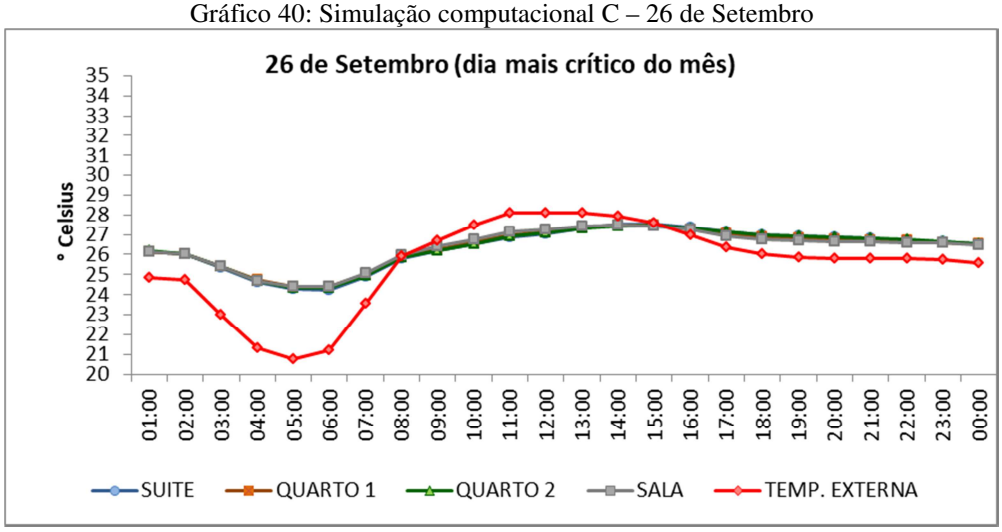


Gráfico 41: Simulação computacional C – 15 de Outubro

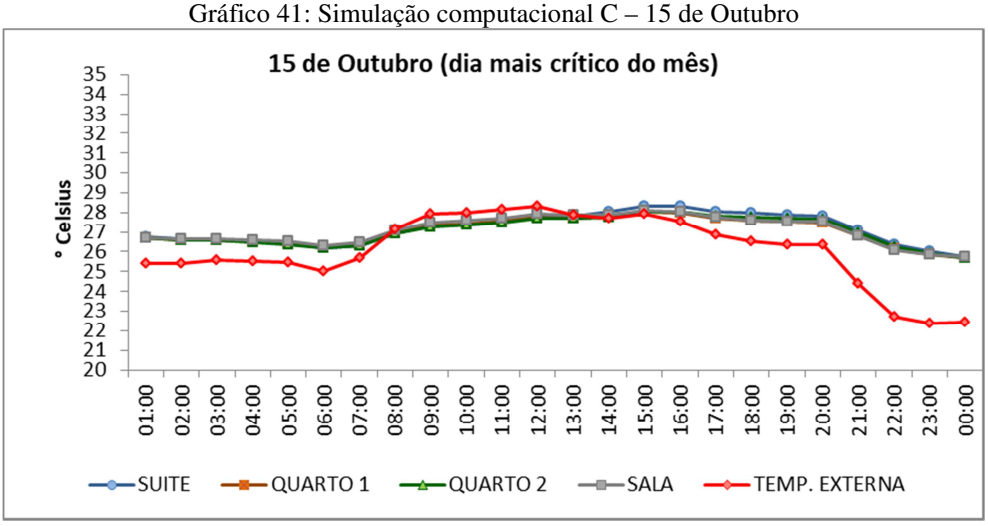


Gráfico 42: Simulação computacional C – 16 de Novembro

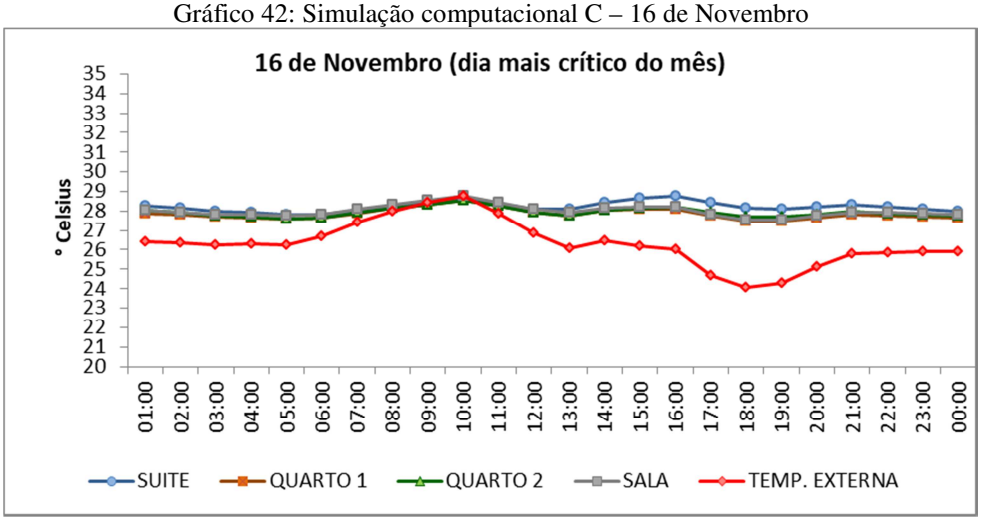
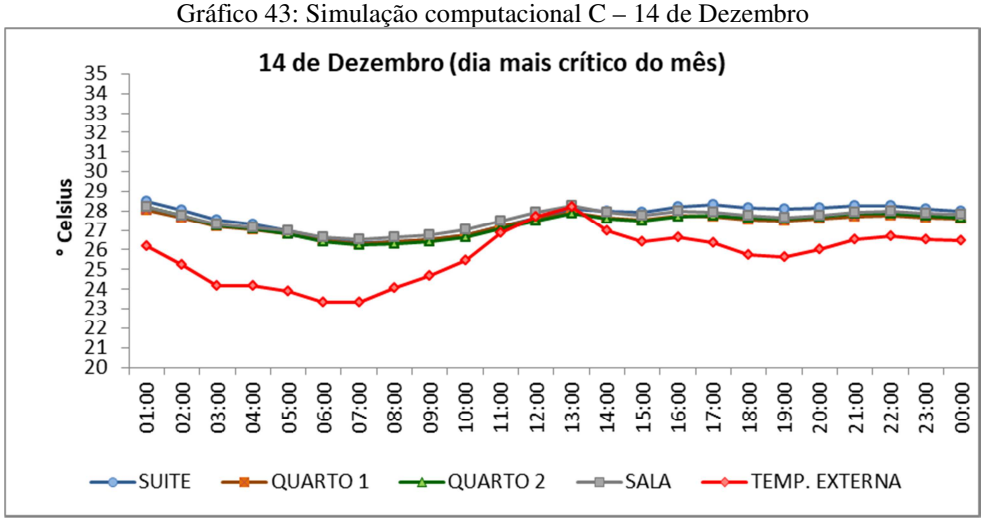


Gráfico 43: Simulação computacional C – 14 de Dezembro



APÊNDICE D – Gráficos dos resultados da simulação computacional D

Gráfico 44: Simulação computacional D – 19 de Janeiro

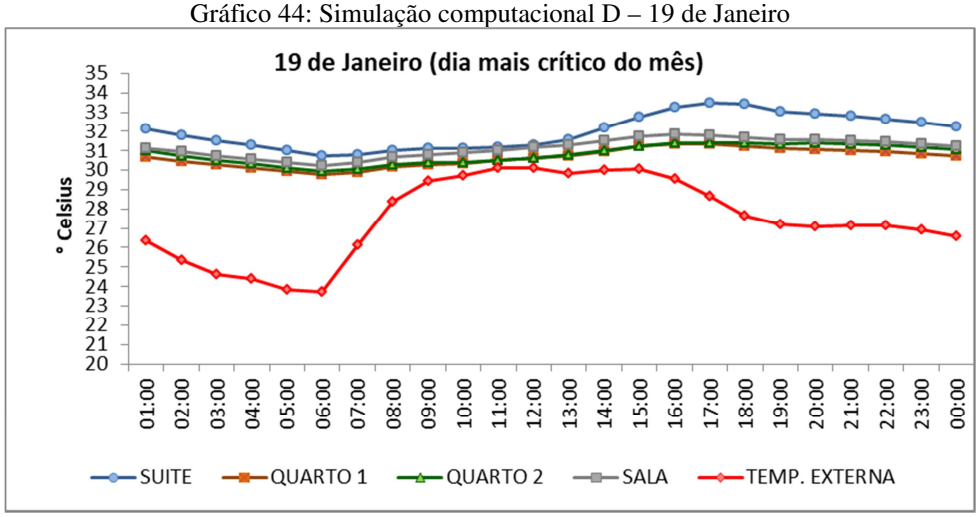


Gráfico 45: Simulação computacional D – 12 de Fevereiro

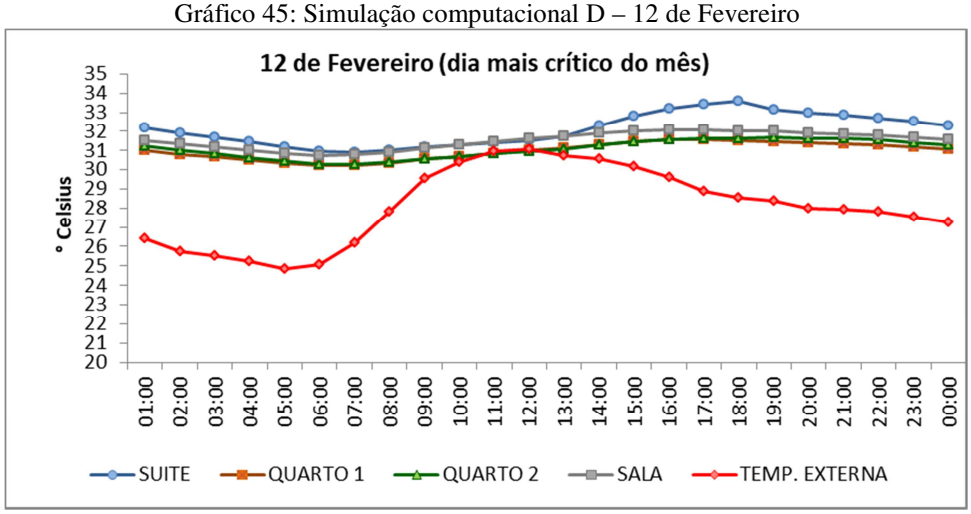


Gráfico 46: Simulação computacional D – 29 de Março

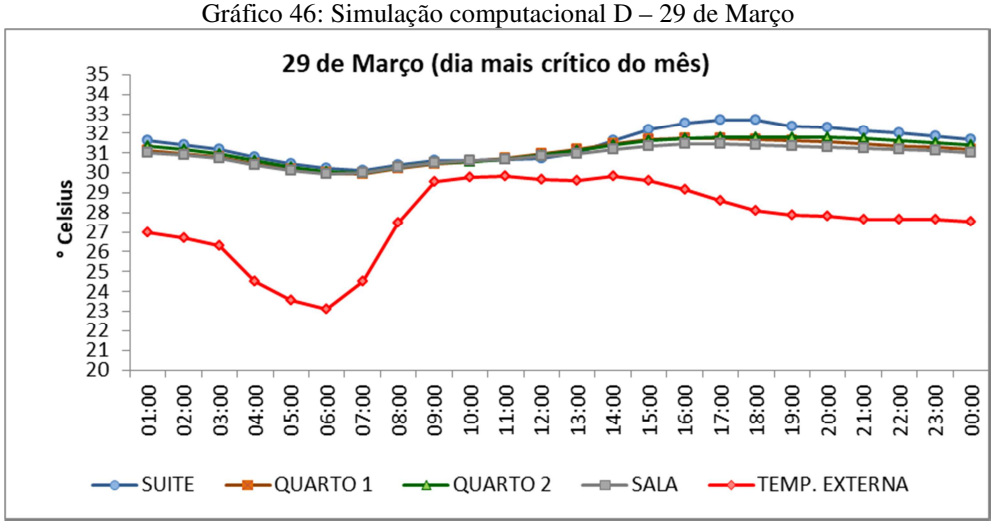


Gráfico 47: Simulação computacional D – 18 de Abril

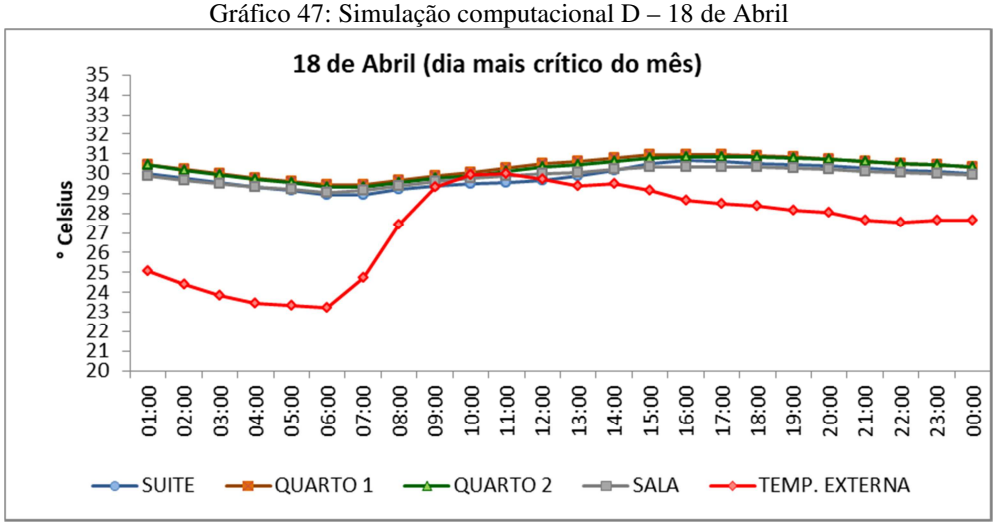


Gráfico 48: Simulação computacional D – 02 de Maio

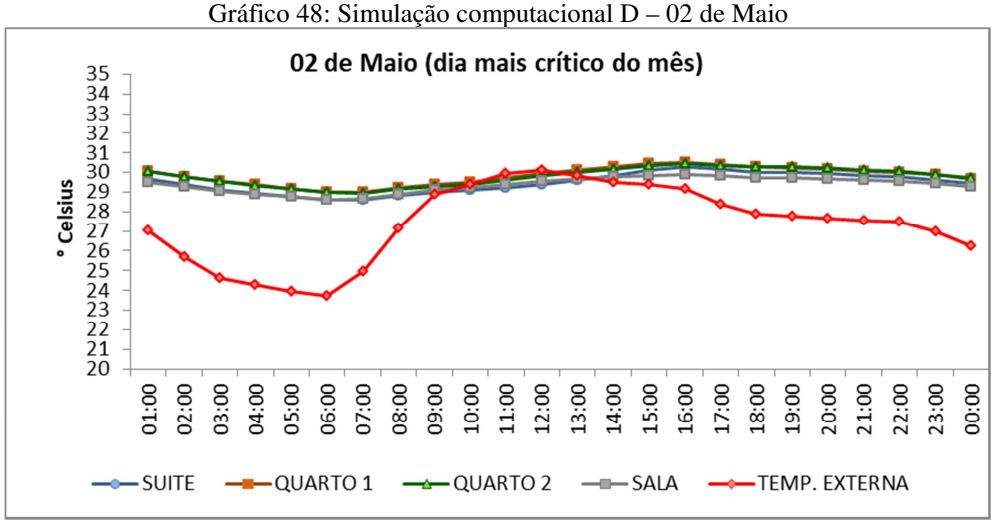


Gráfico 49: Simulação computacional D – 13 de Junho

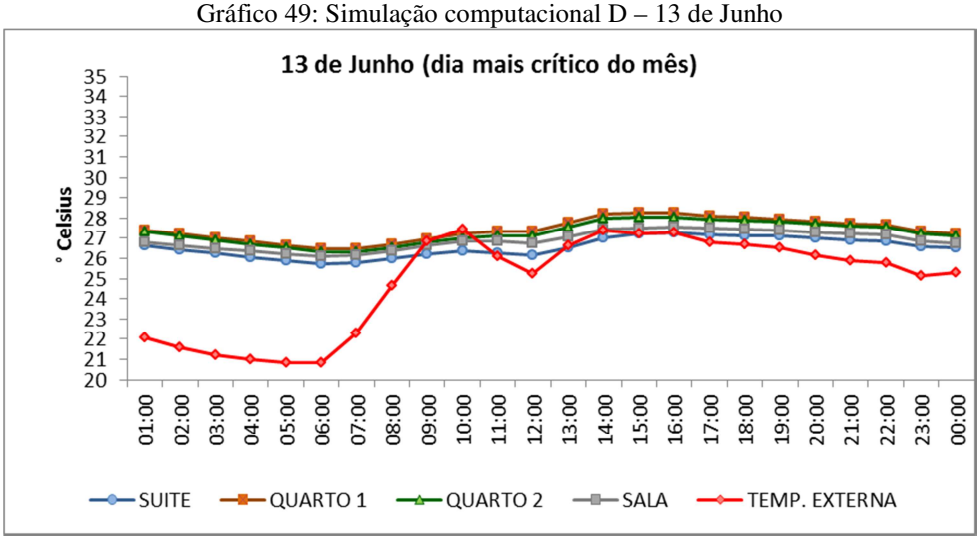


Gráfico 50: Simulação computacional D – 30 de Julho

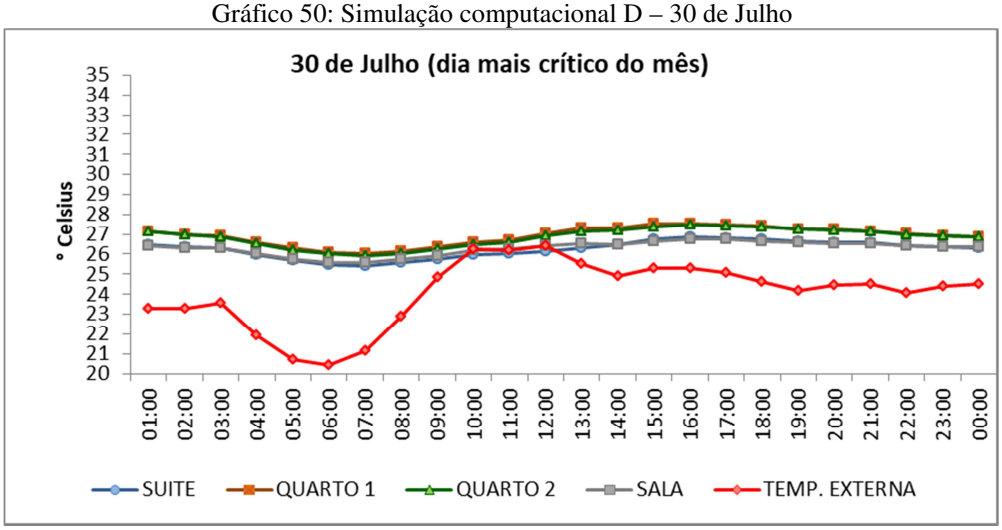


Gráfico 51: Simulação computacional D – 07 de Agosto

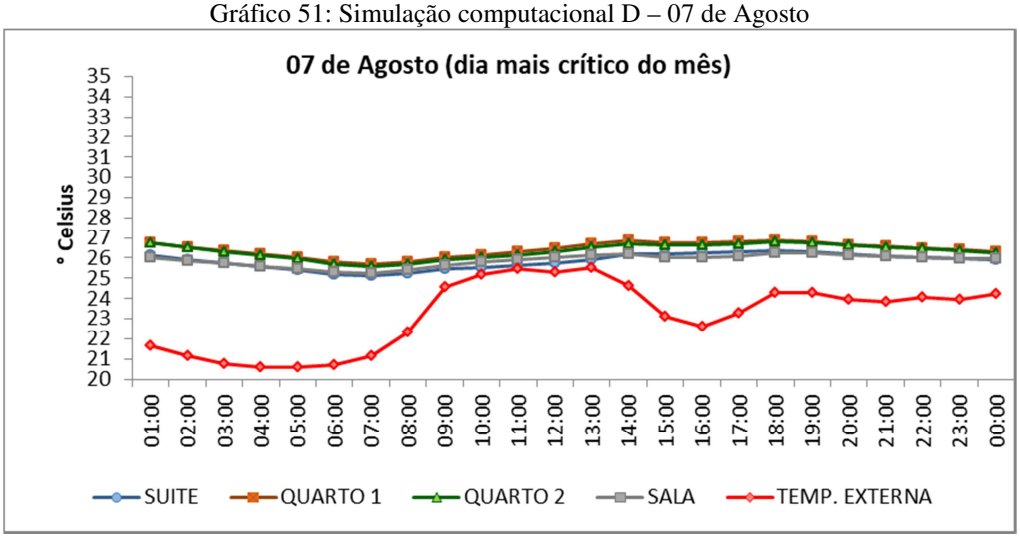


Gráfico 52: Simulação computacional D – 26 de Setembro

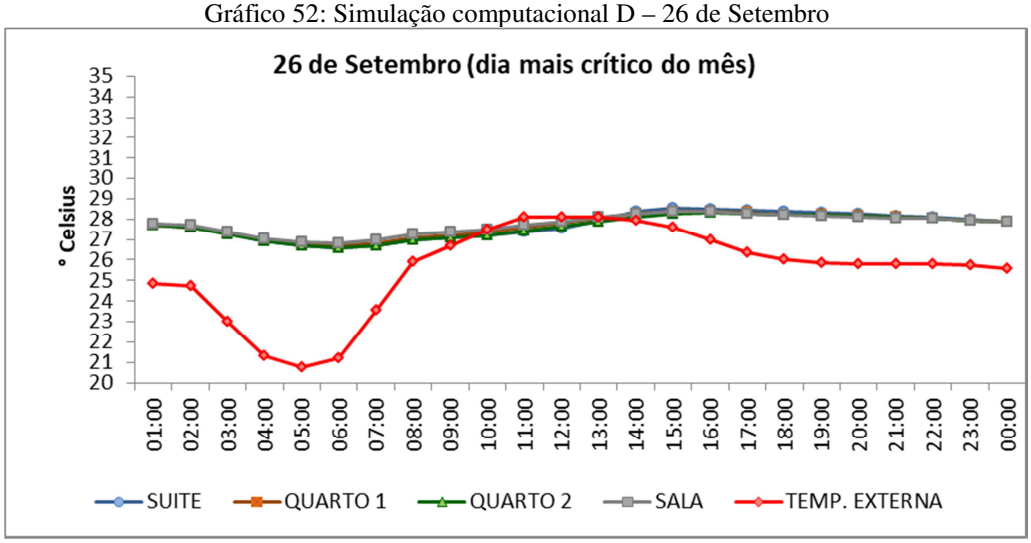


Gráfico 53: Simulação computacional D – 15 de Outubro

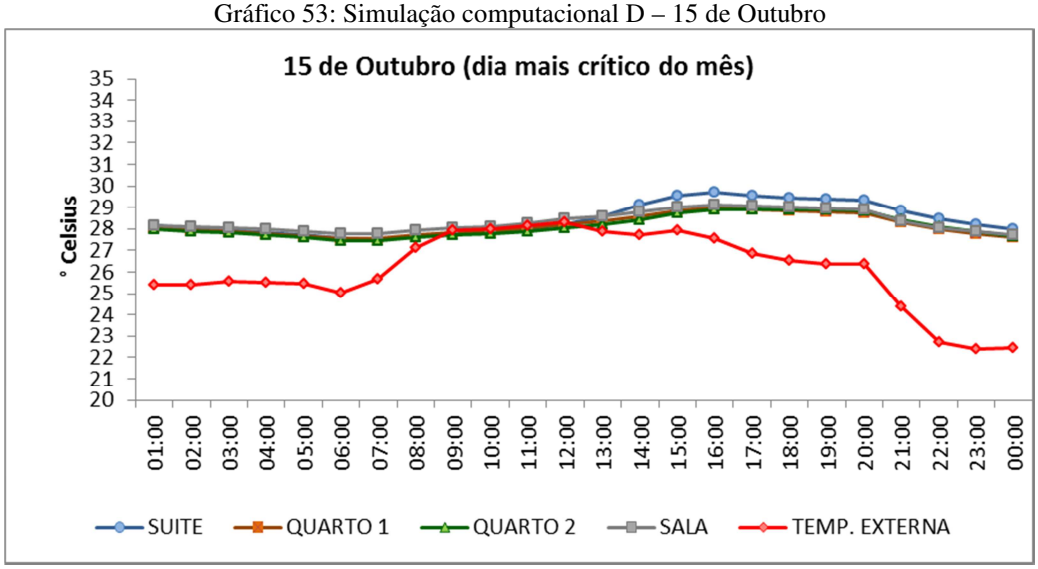


Gráfico 54: Simulação computacional D – 16 de Novembro

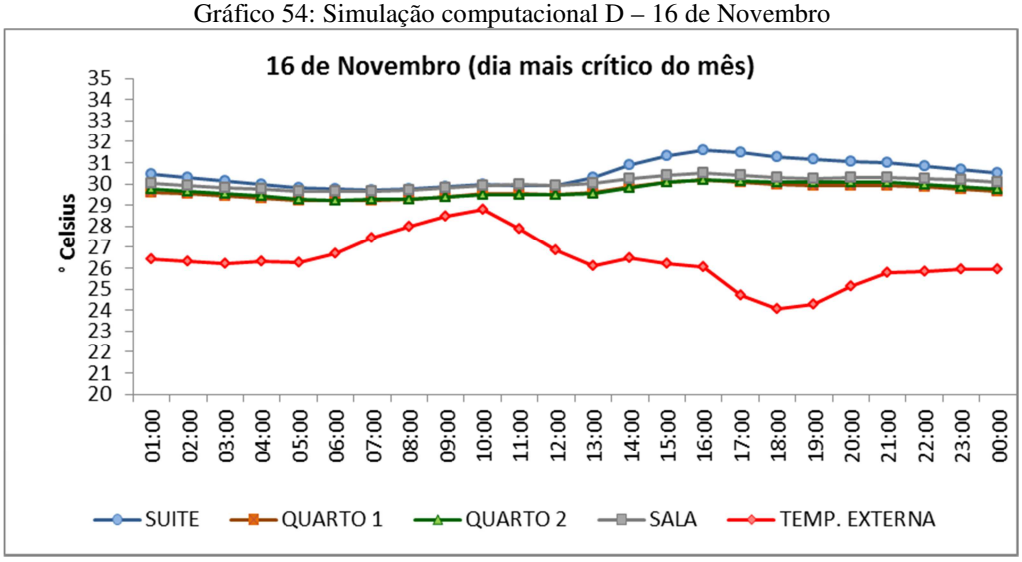
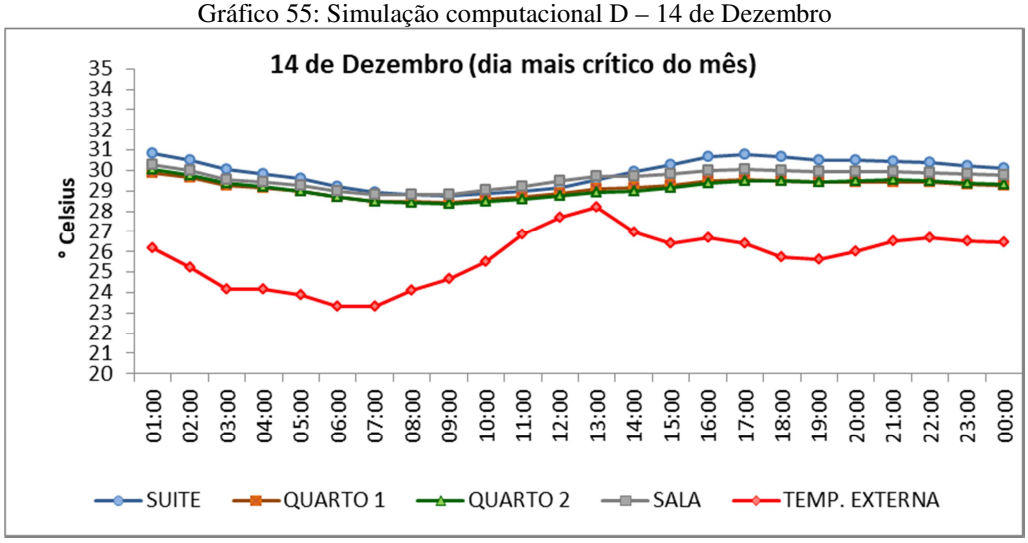


Gráfico 55: Simulação computacional D – 14 de Dezembro



APÊNDICE E – Gráficos dos resultados da simulação computacional E

Gráfico 56: Simulação computacional E – 19 de Janeiro

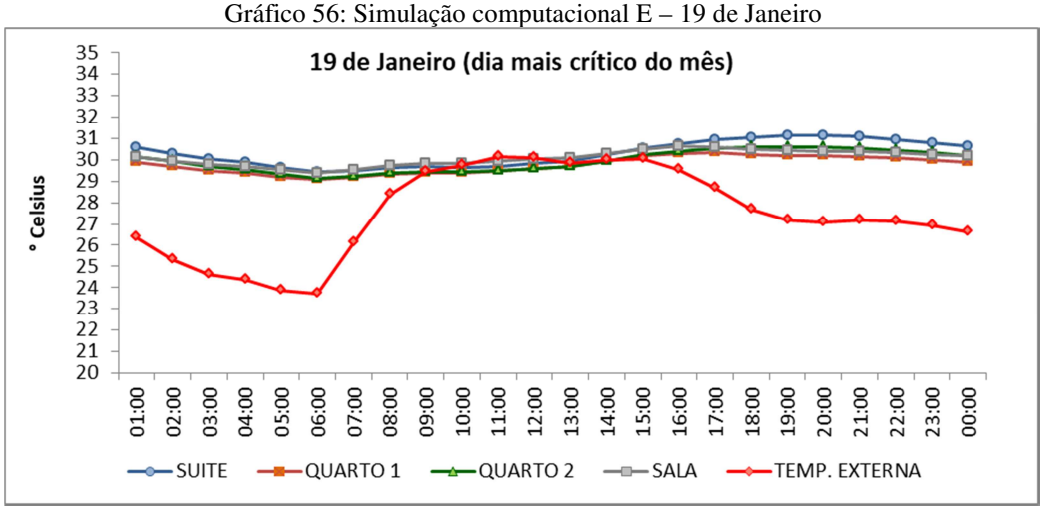


Gráfico 57: Simulação computacional E – 12 de Fevereiro

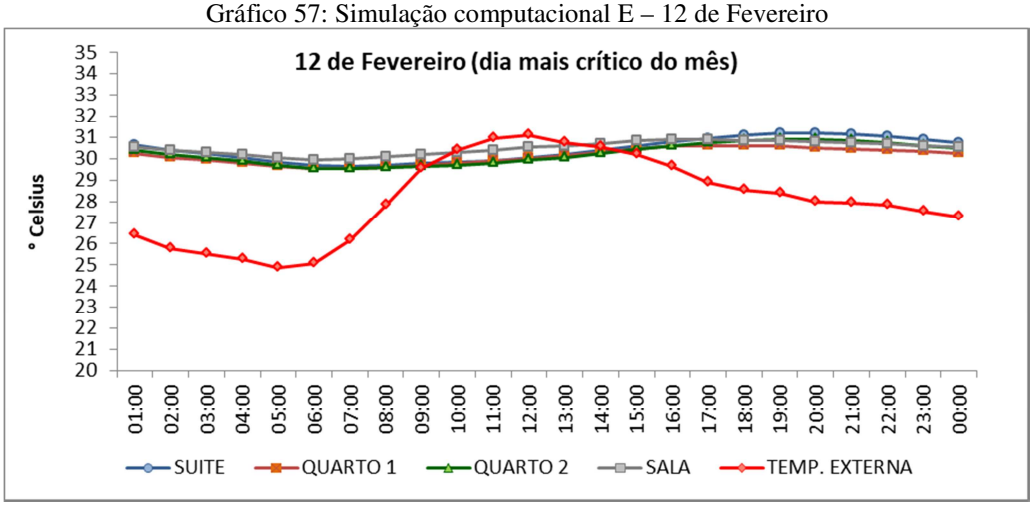


Gráfico 58: Simulação computacional E – 29 de Março

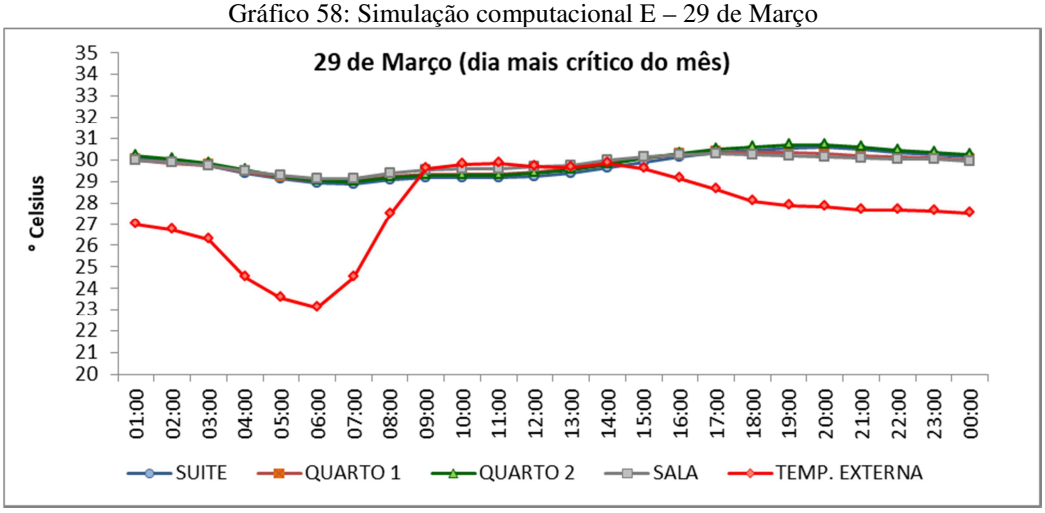


Gráfico 59: Simulação computacional E – 18 de Abril

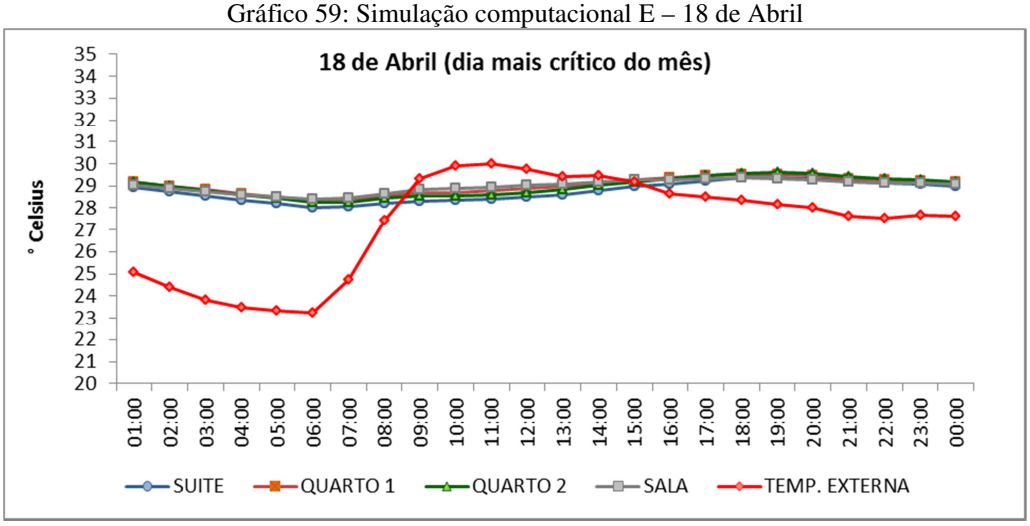


Gráfico 60: Simulação computacional E – 02 de Maio

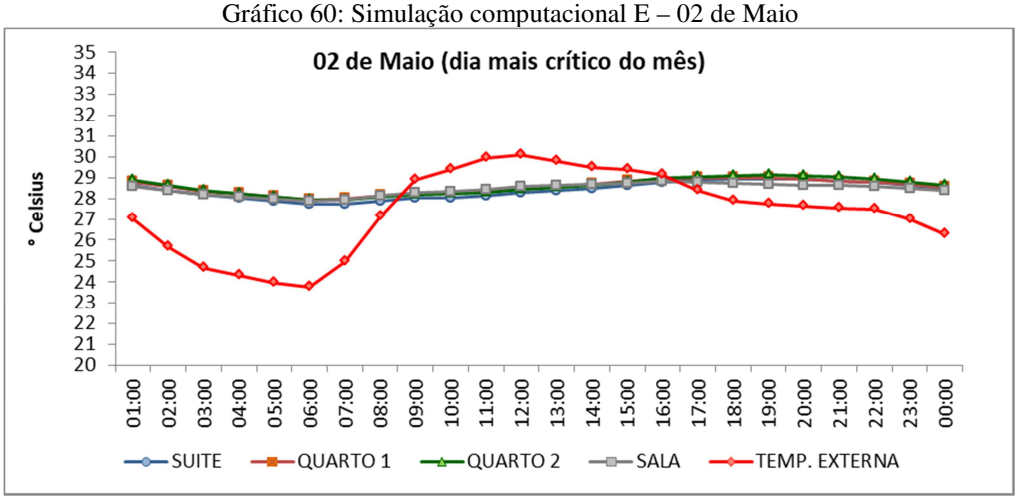


Gráfico 61: Simulação computacional E – 13 de Junho

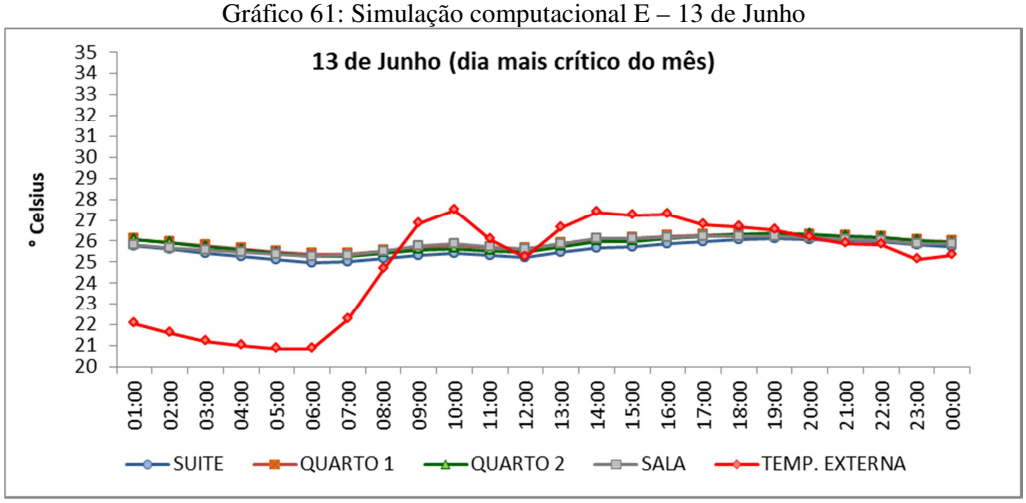


Gráfico 62: Simulação computacional E – 30 de Julho

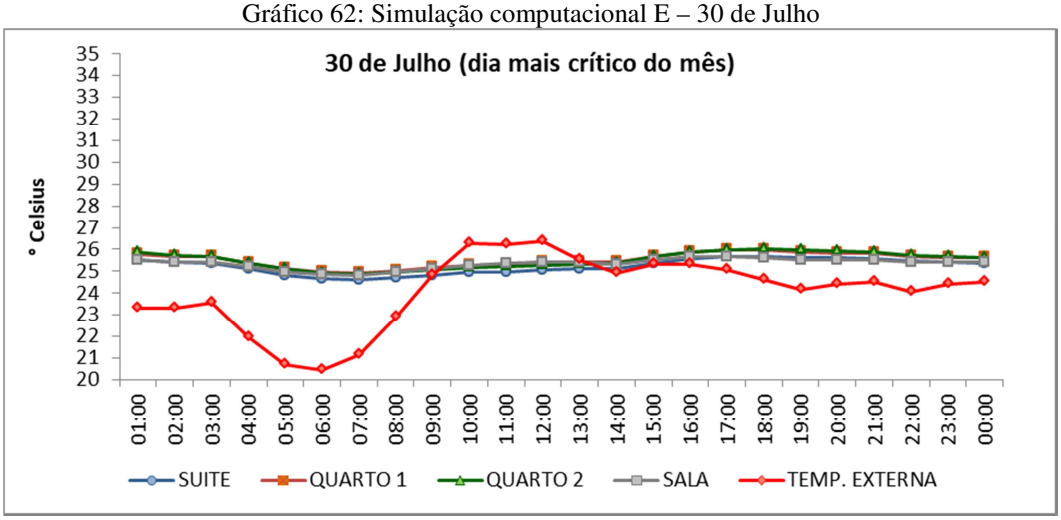


Gráfico 63: Simulação computacional E – 07 de Agosto

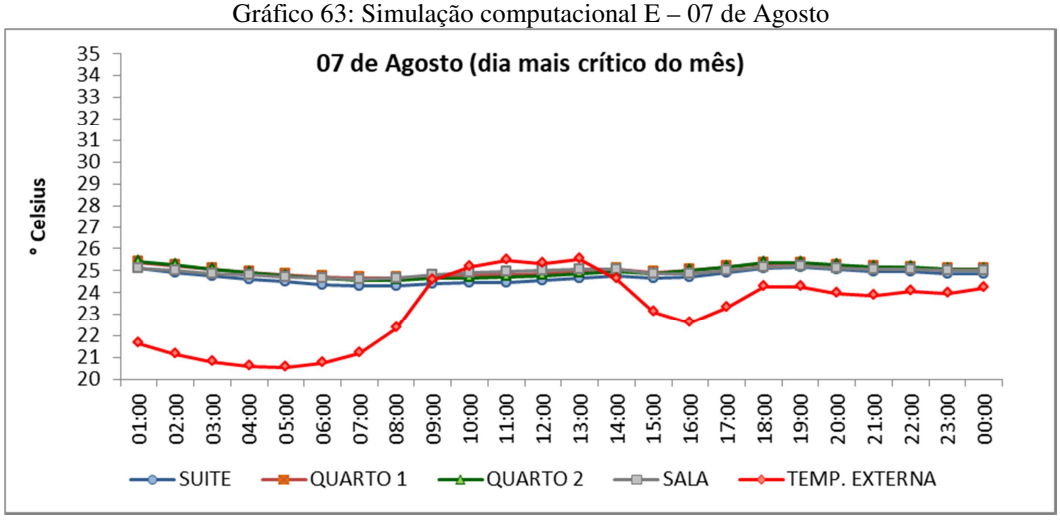


Gráfico 64: Simulação computacional E – 26 de Setembro

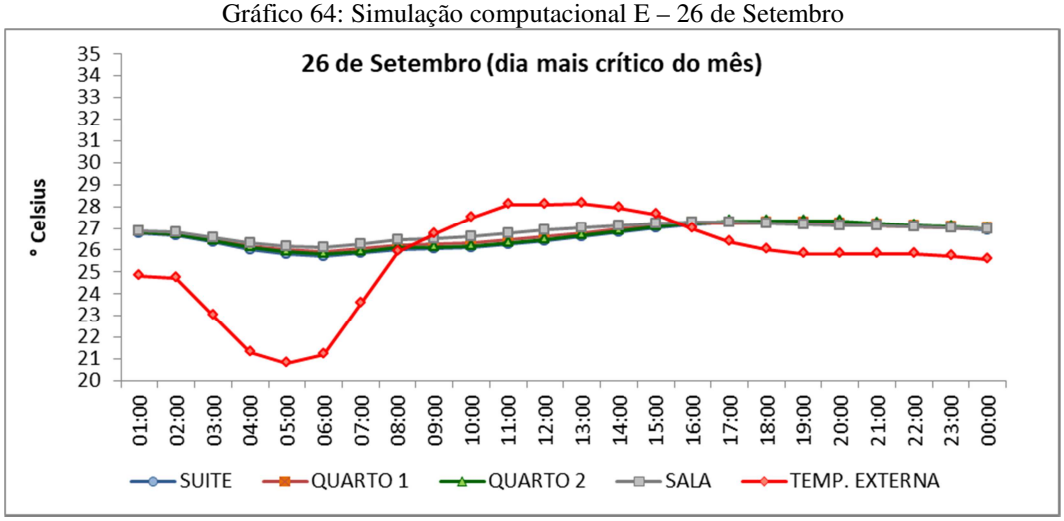


Gráfico 65: Simulação computacional E – 15 de Outubro

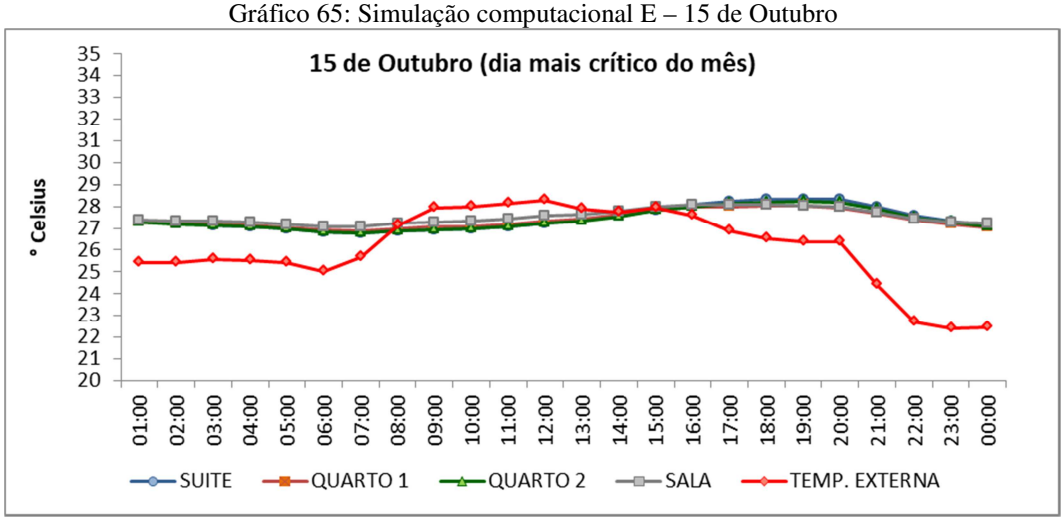


Gráfico 66: Simulação computacional E – 16 de Novembro

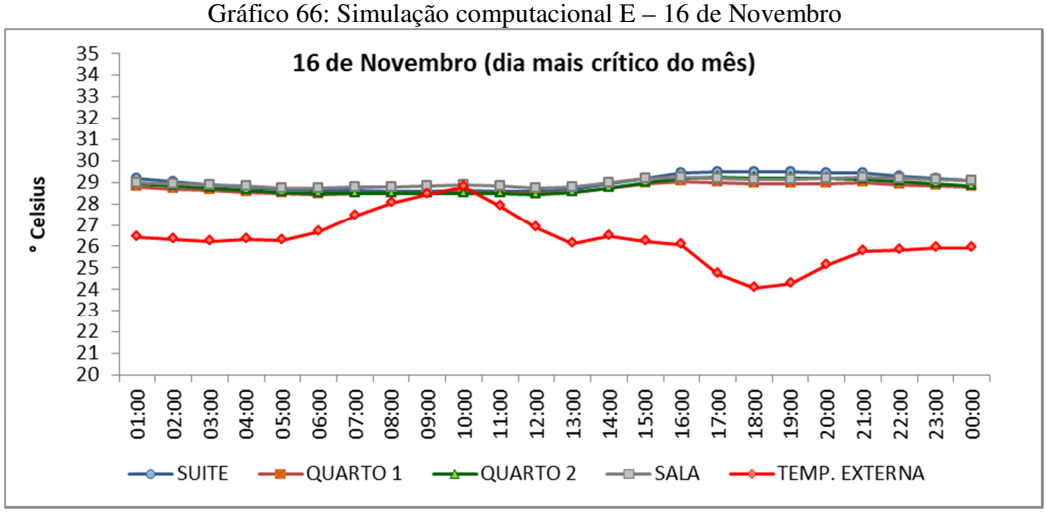
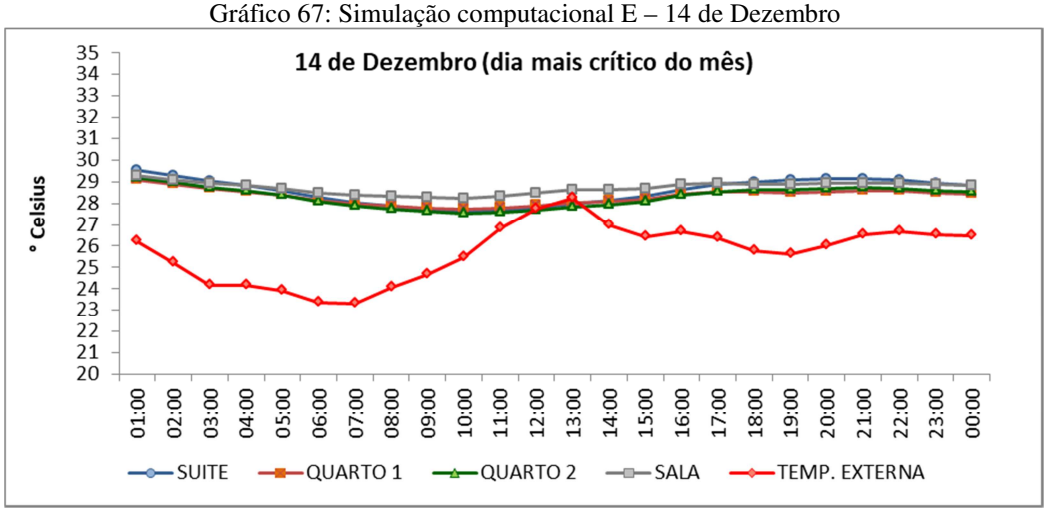


Gráfico 67: Simulação computacional E – 14 de Dezembro



APÊNDICE F – Gráficos dos resultados da simulação computacional F

Gráfico 68: Simulação computacional F – 19 de Janeiro

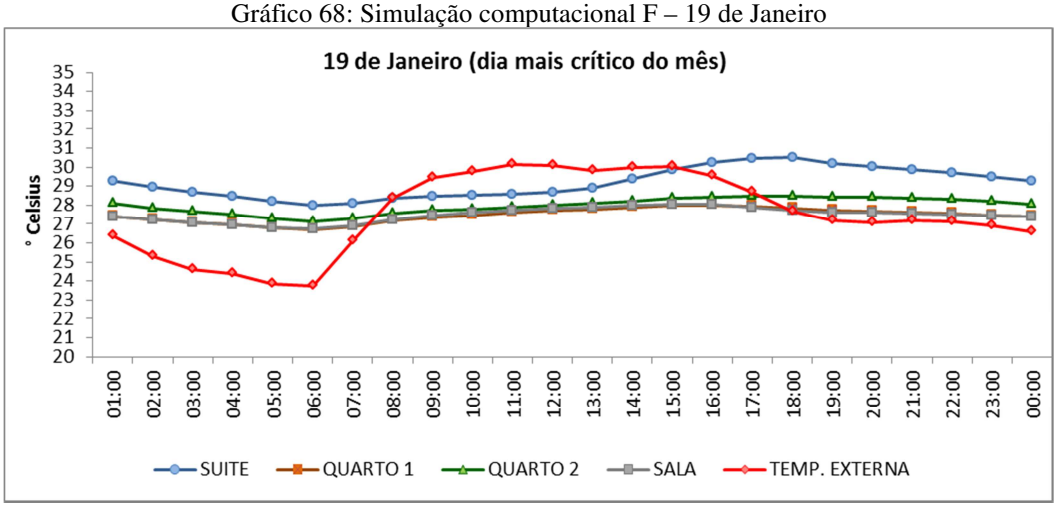


Gráfico 69: Simulação computacional F – 12 de Fevereiro

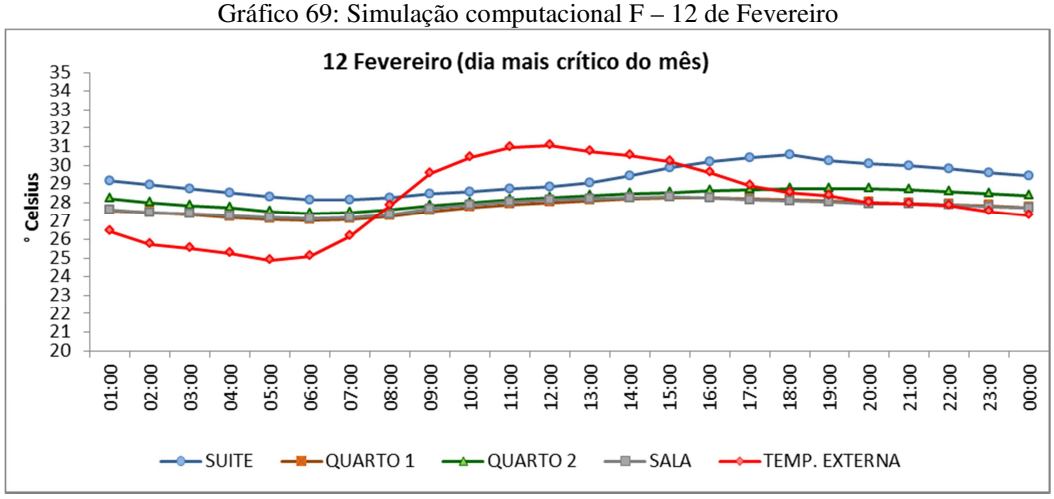


Gráfico 70: Simulação computacional F – 29 de Março

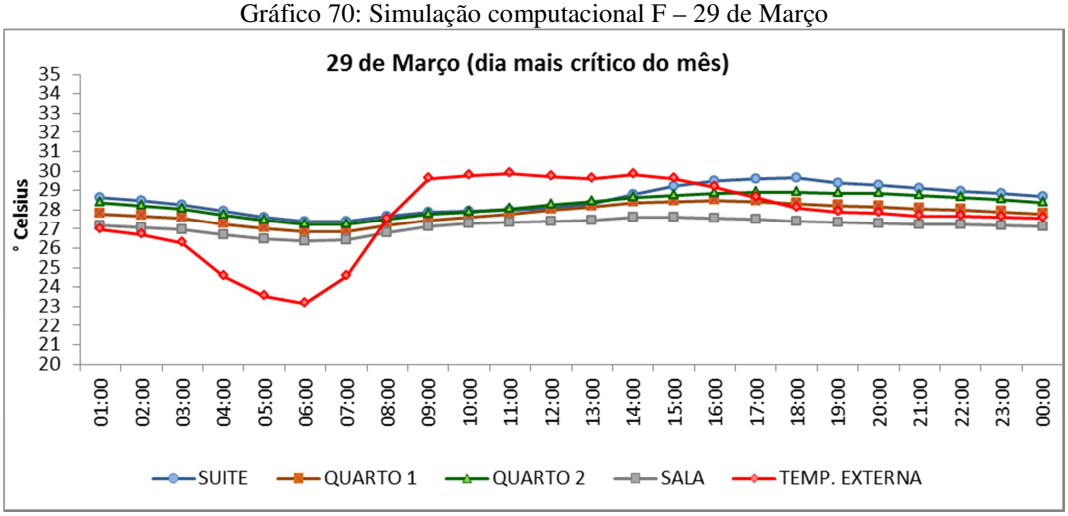


Gráfico 71: Simulação computacional F – 18 de Abril

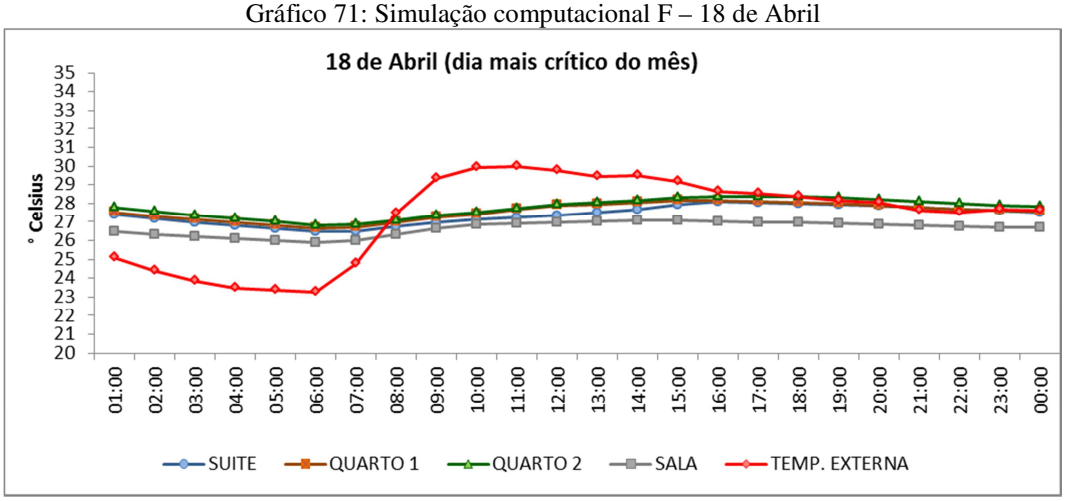


Gráfico 72: Simulação computacional F – 02 de Maio

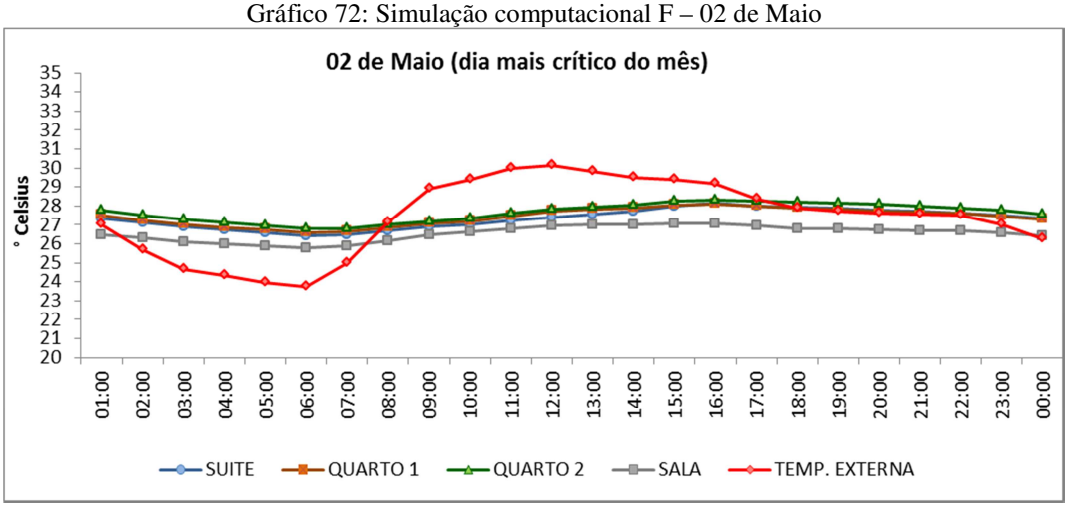


Gráfico 73: Simulação computacional F – 13 de Junho

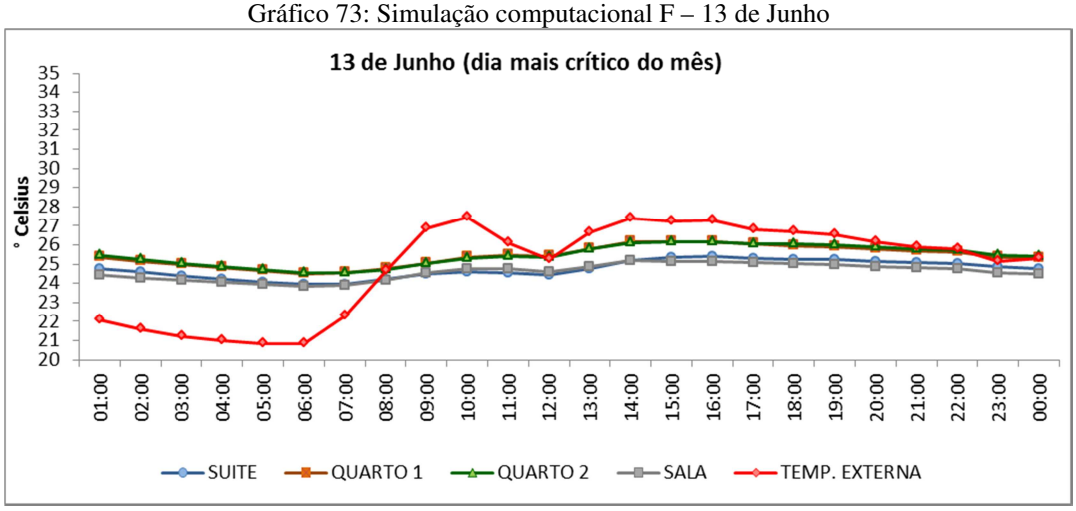


Gráfico 74: Simulação computacional F – 30 de Julho

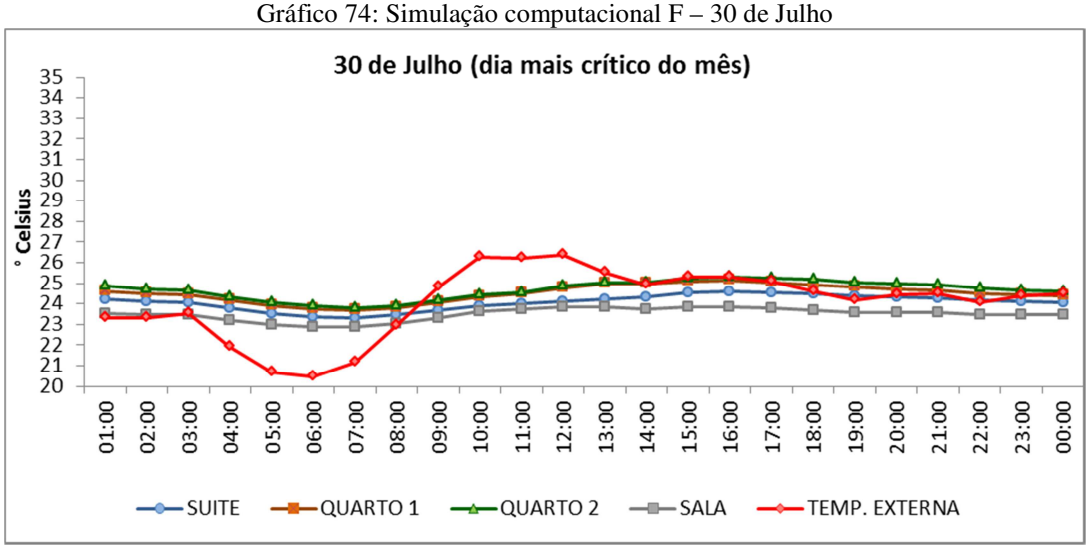


Gráfico 75: Simulação computacional F – 07 de Agosto

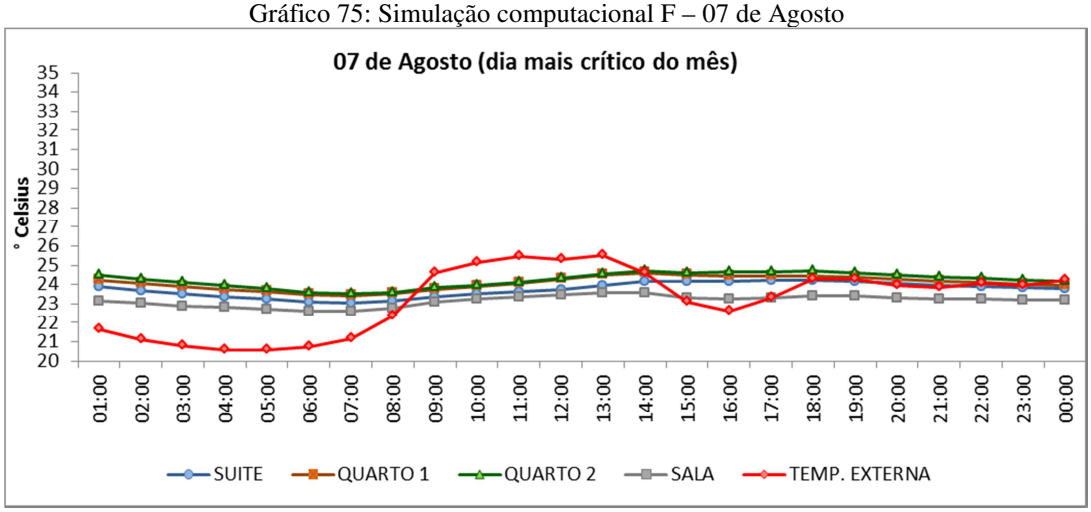


Gráfico 76: Simulação computacional F – 26 de Setembro

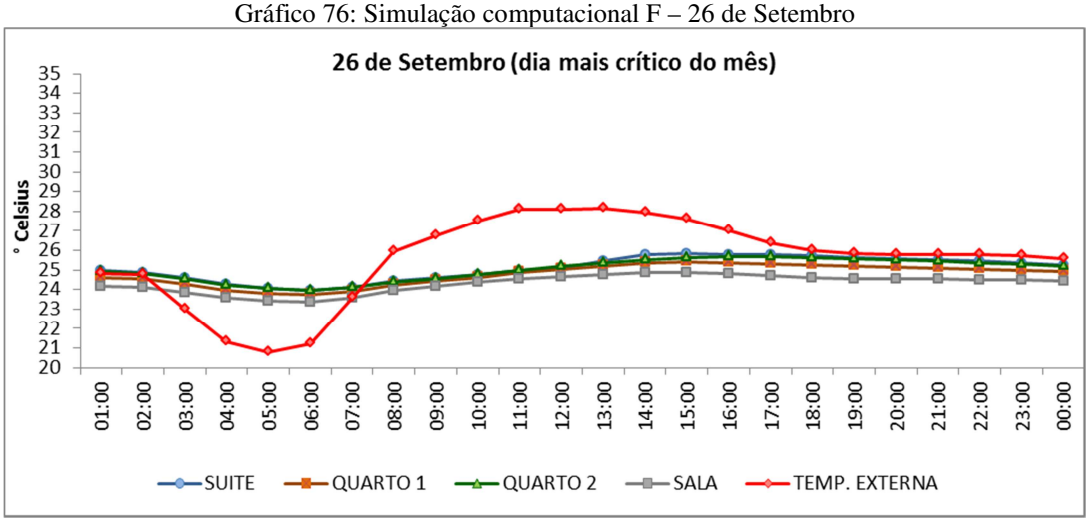


Gráfico 77: Simulação computacional F – 15 de Outubro

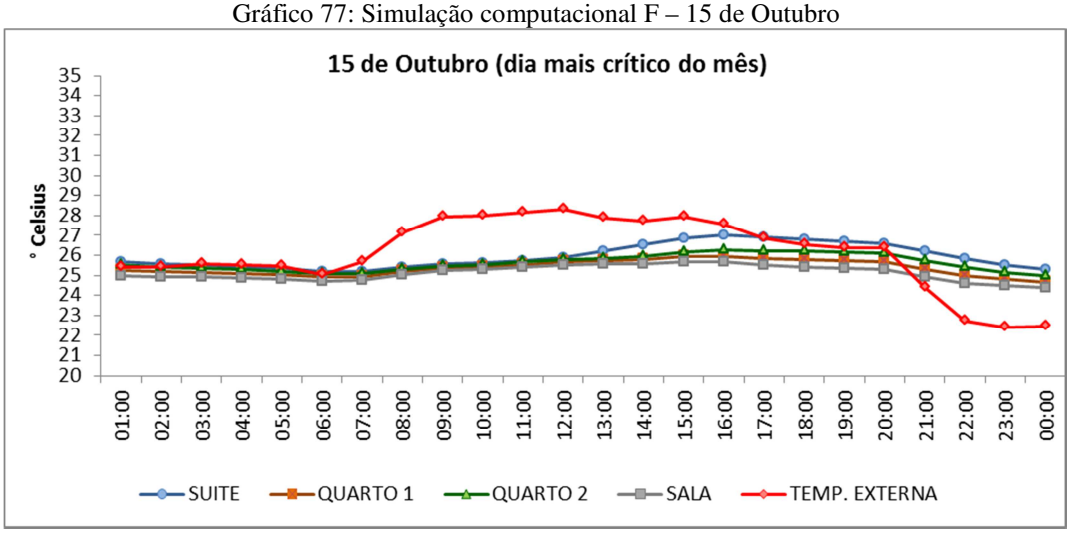


Gráfico 78: Simulação computacional F – 16 de Novembro

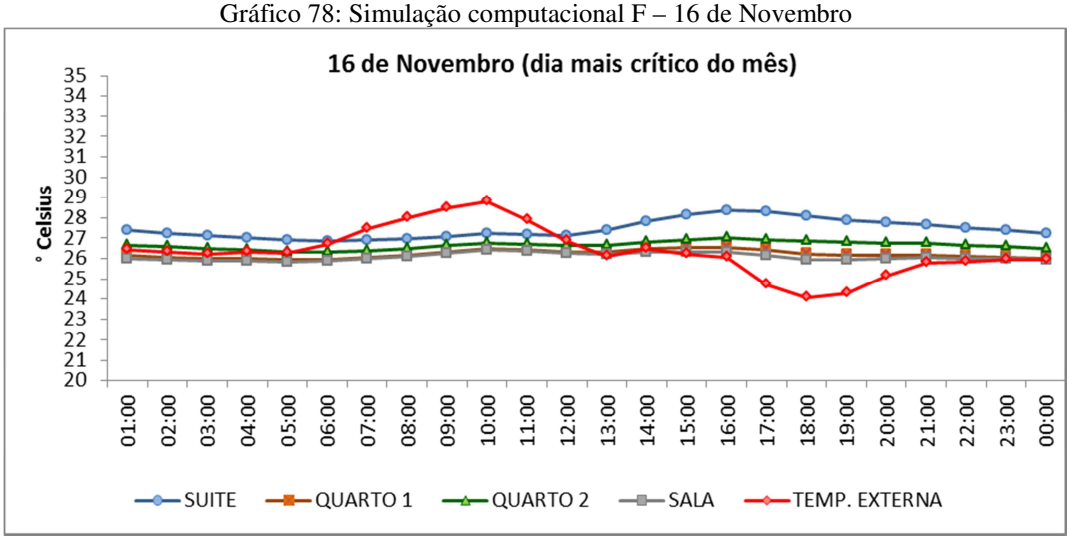
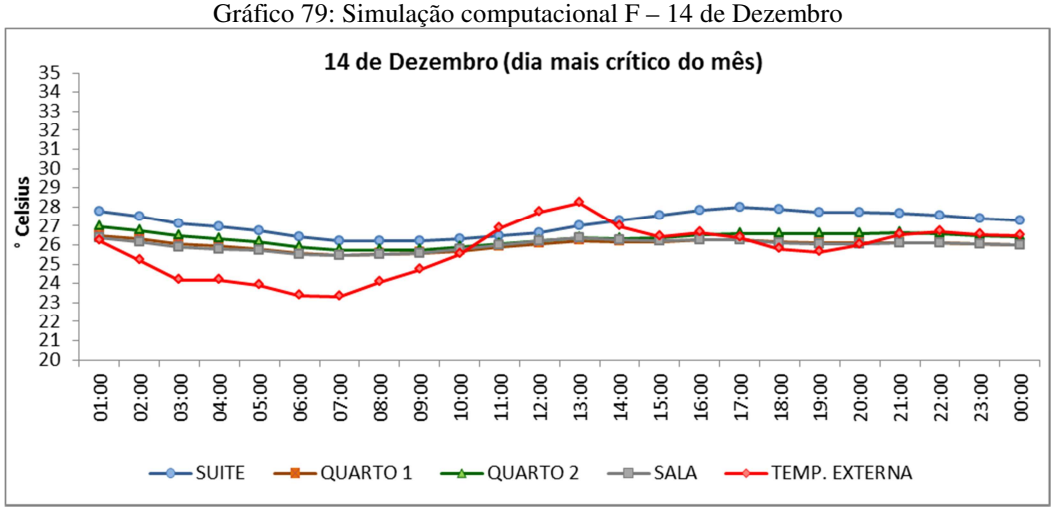


Gráfico 79: Simulação computacional F – 14 de Dezembro



APÊNDICE G – Gráficos dos resultados da simulação computacional G

Gráfico 80: Simulação computacional G – 19 de Janeiro

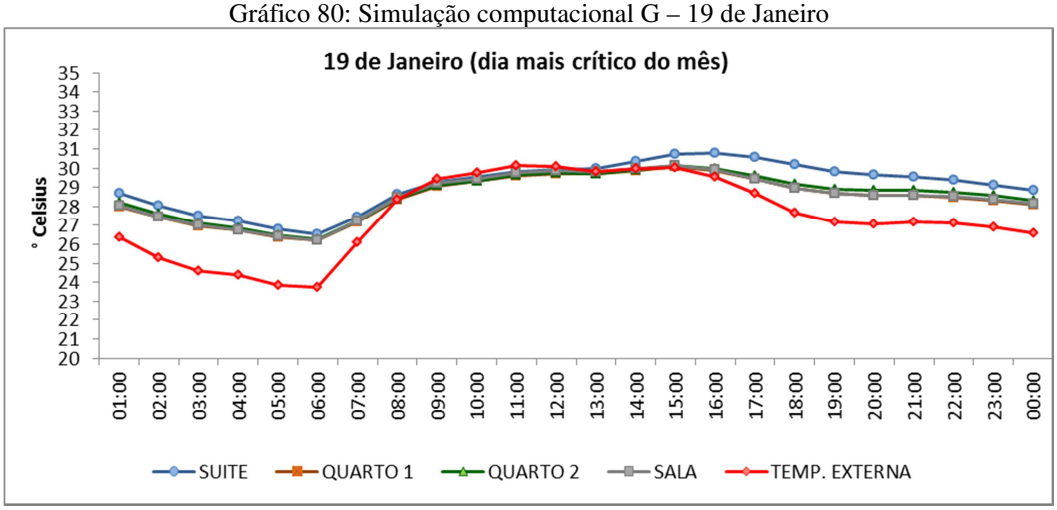


Gráfico 81: Simulação computacional G – 12 de Fevereiro

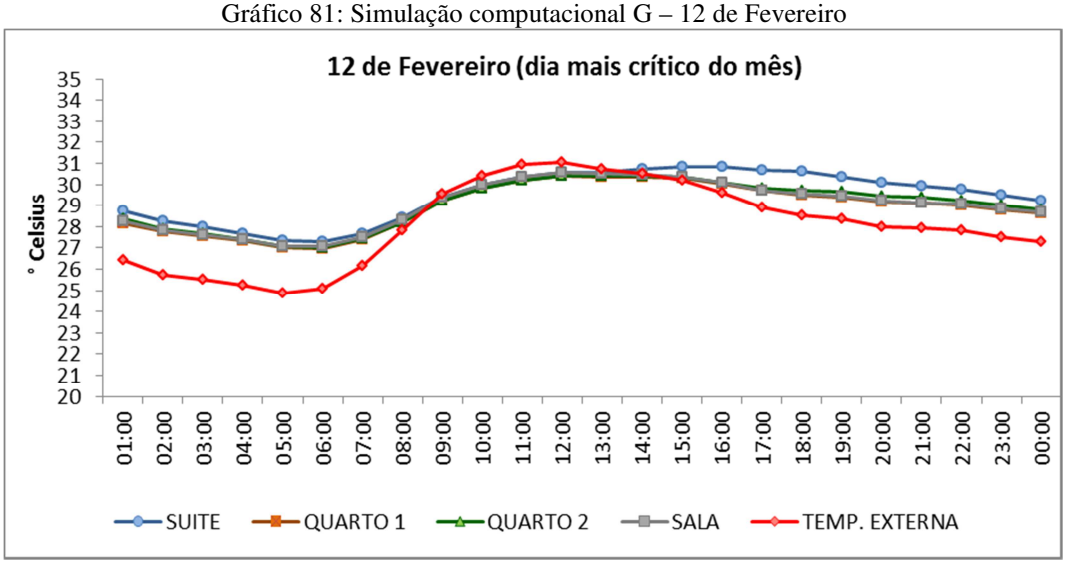


Gráfico 82: Simulação computacional G – 29 de Março

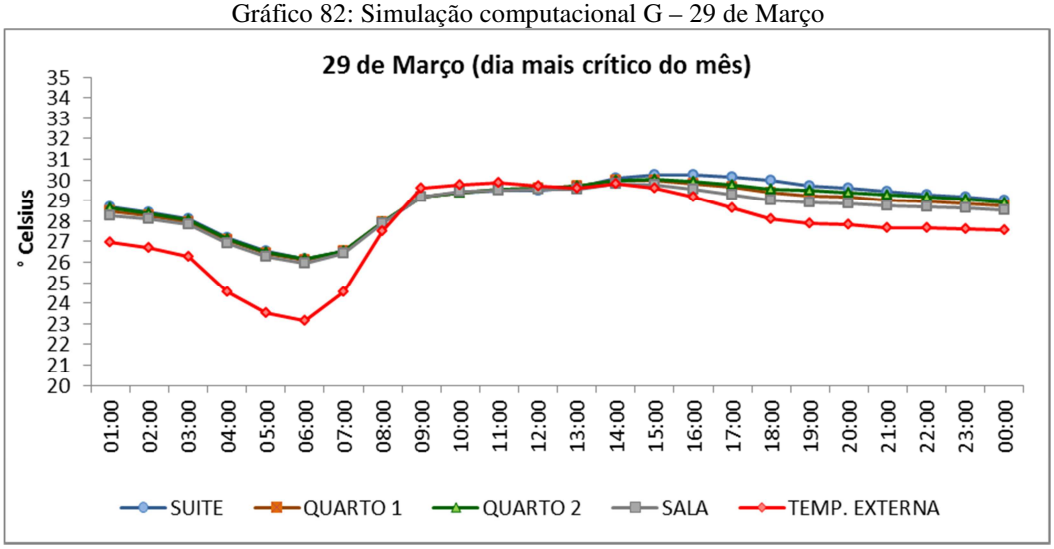


Gráfico 83: Simulação computacional G – 18 de Abril

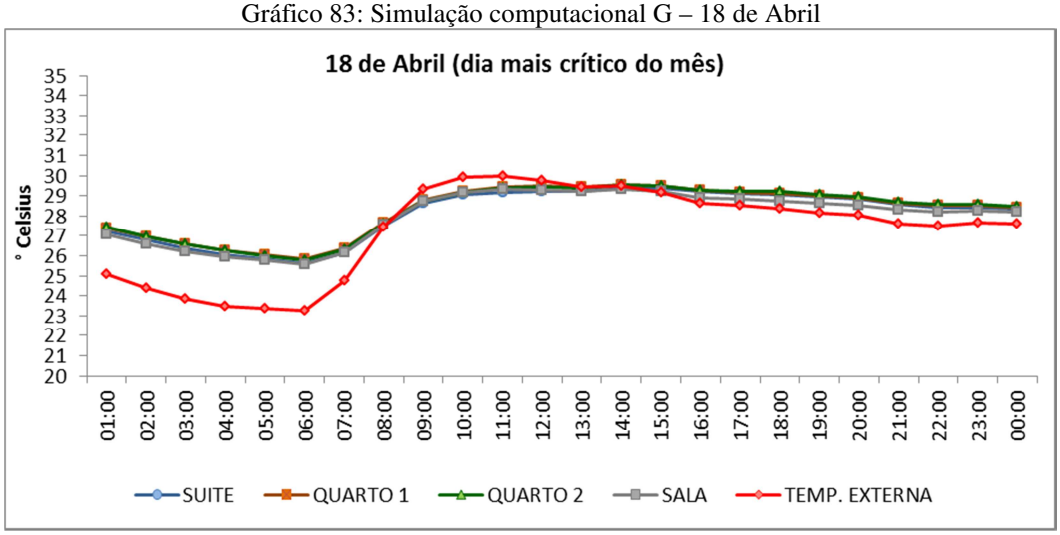


Gráfico 84: Simulação computacional G – 02 de Maio

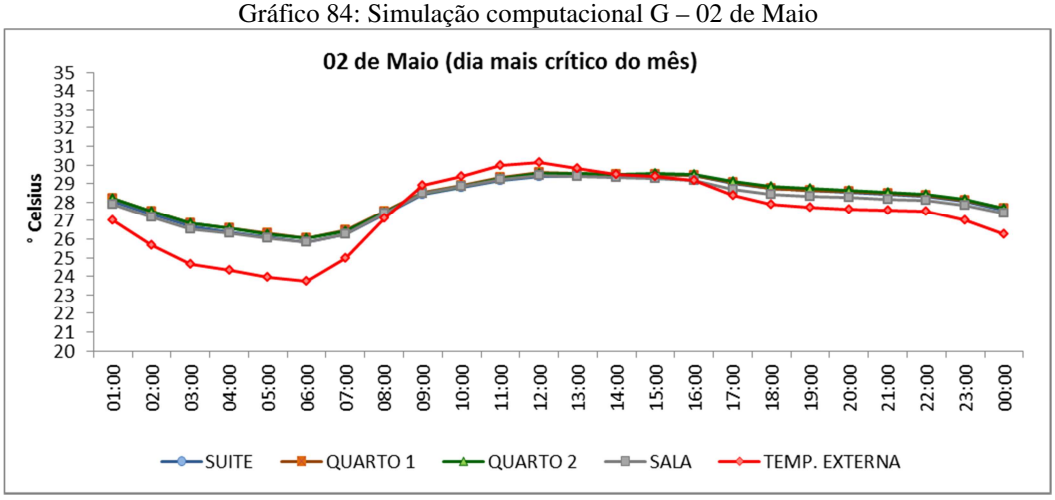


Gráfico 85: Simulação computacional G – 13 de Junho

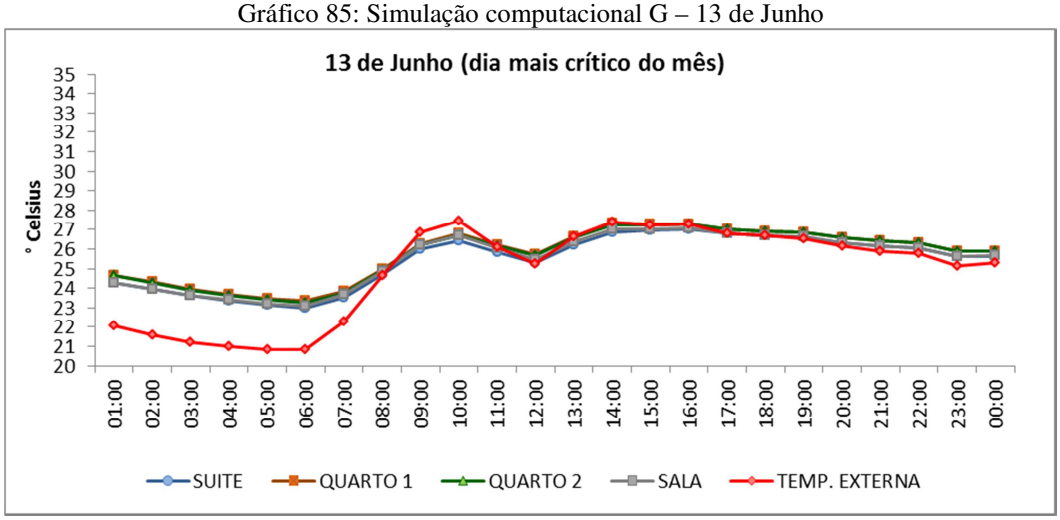


Gráfico 86: Simulação computacional G – 30 de Julho

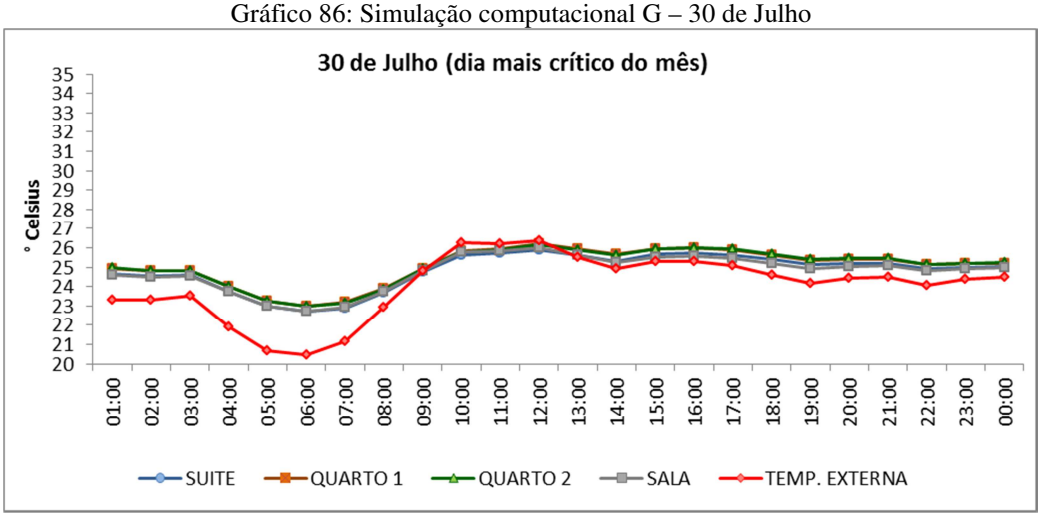


Gráfico 87: Simulação computacional G – 07 de Agosto

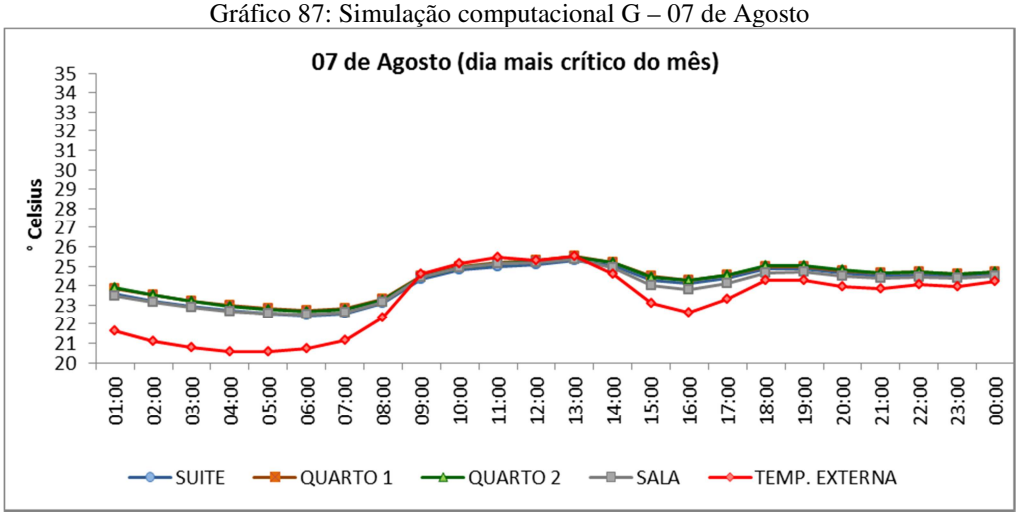


Gráfico 88: Simulação computacional G – 26 de Setembro

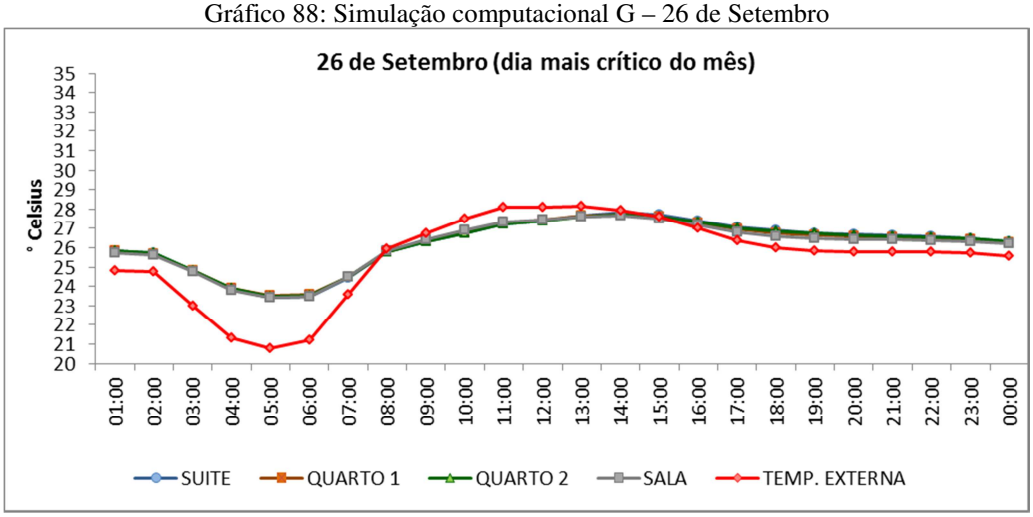


Gráfico 89: Simulação computacional G – 15 de Outubro

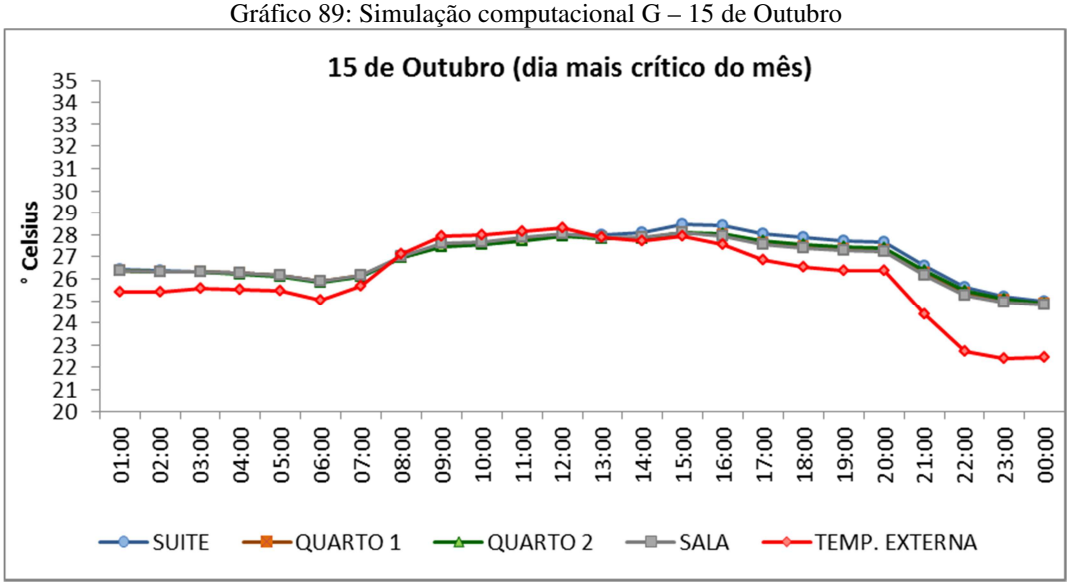


Gráfico 90: Simulação computacional G – 16 de Novembro

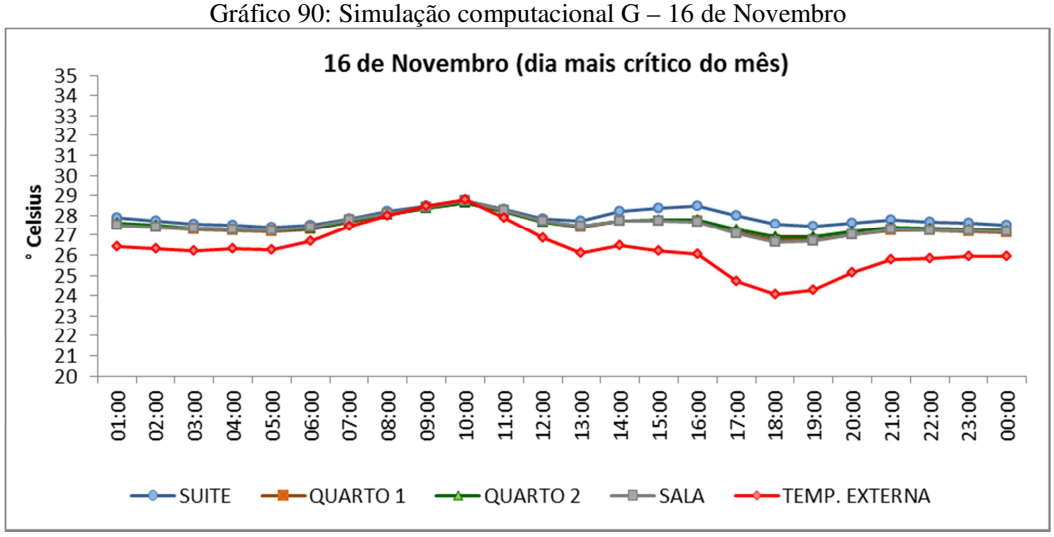
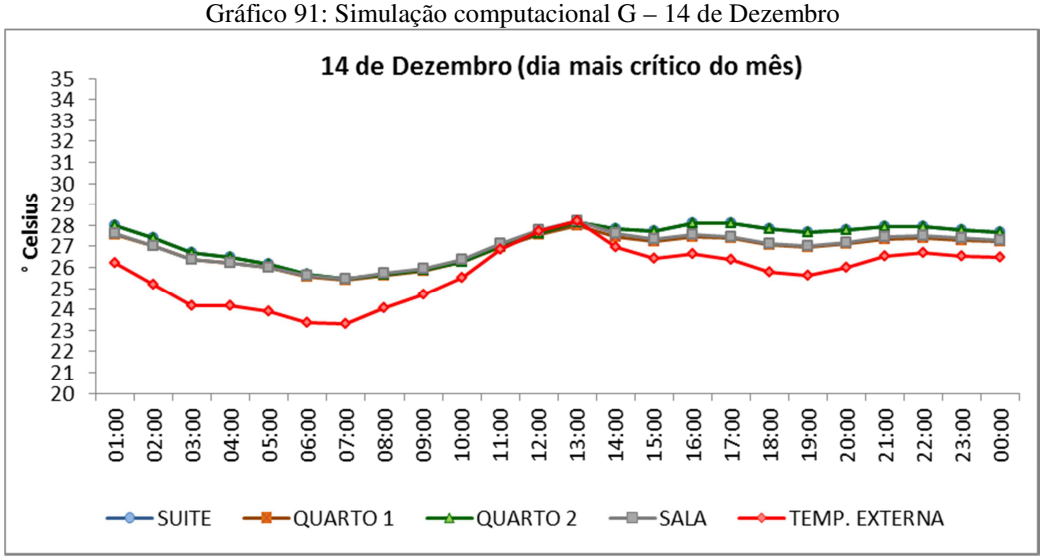


Gráfico 91: Simulação computacional G – 14 de Dezembro



APÊNDICE H – Gráficos dos resultados da simulação computacional H

Gráfico 92: Simulação computacional H – 19 de Janeiro

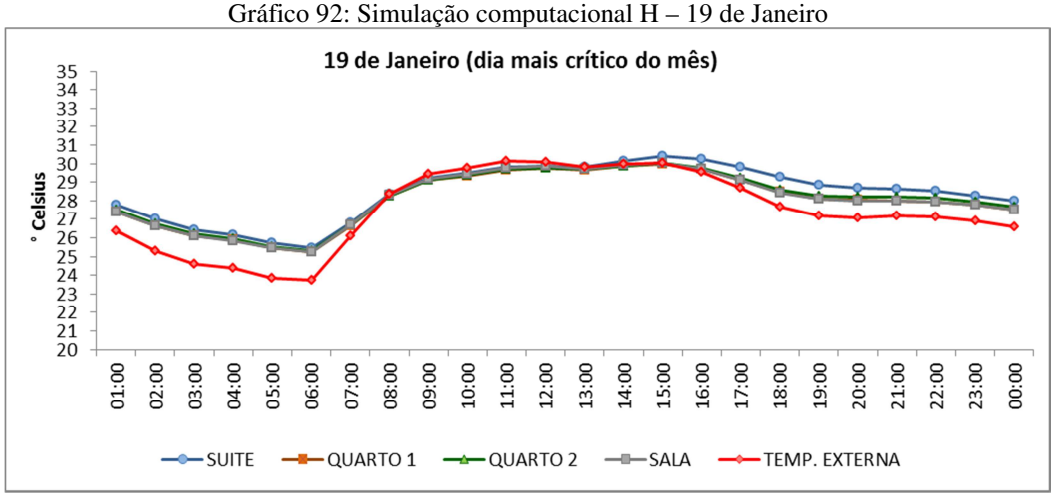


Gráfico 93: Simulação computacional H – 12 de Fevereiro

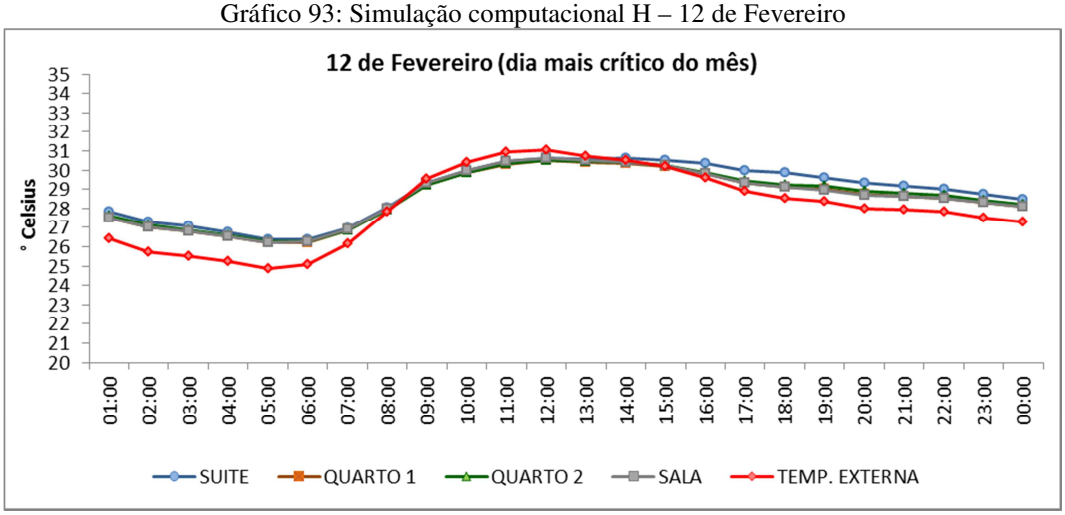


Gráfico 94: Simulação computacional H – 29 de Março

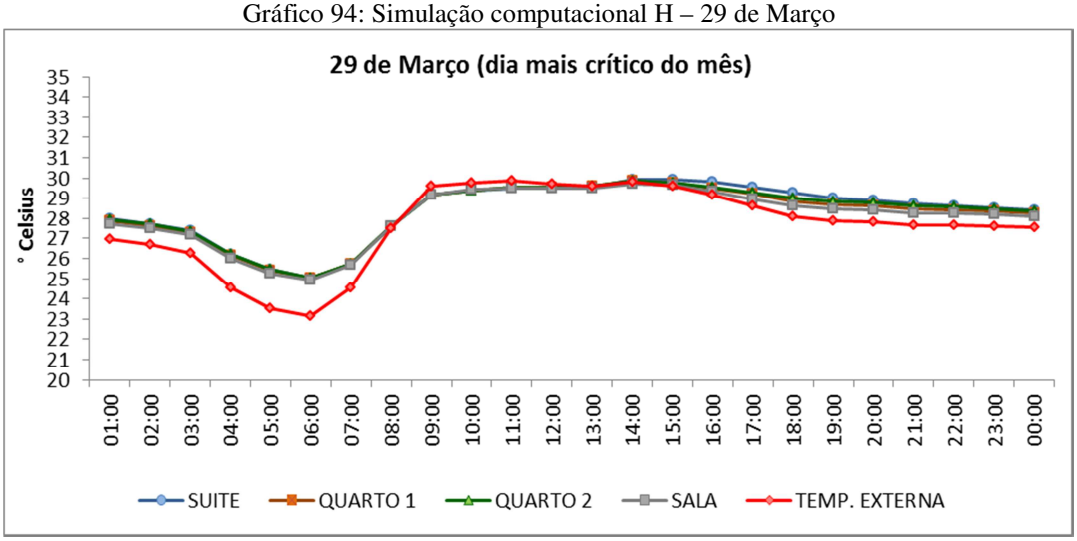


Gráfico 95: Simulação computacional H – 18 de Abril

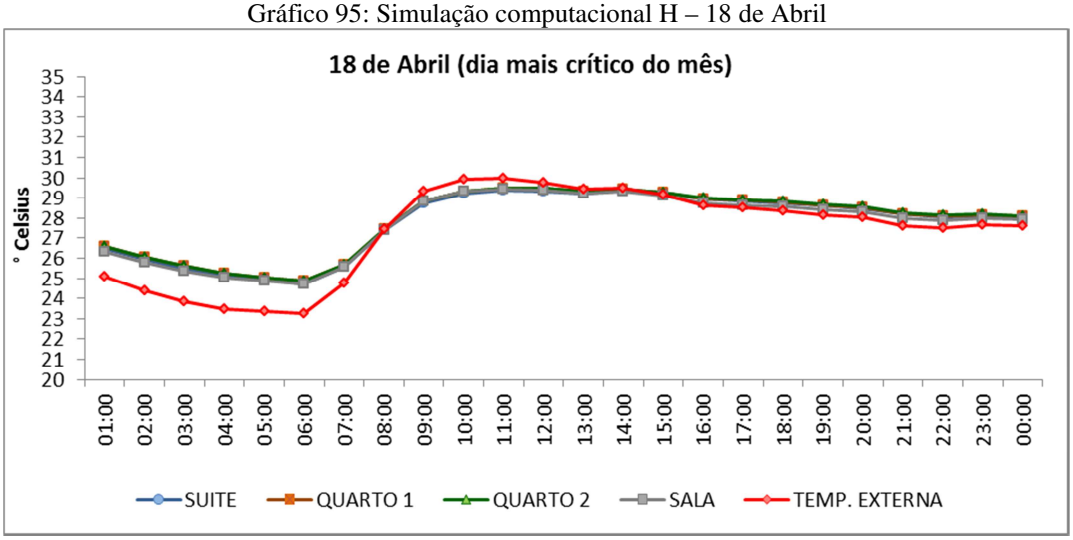


Gráfico 96: Simulação computacional H – 02 de Maio

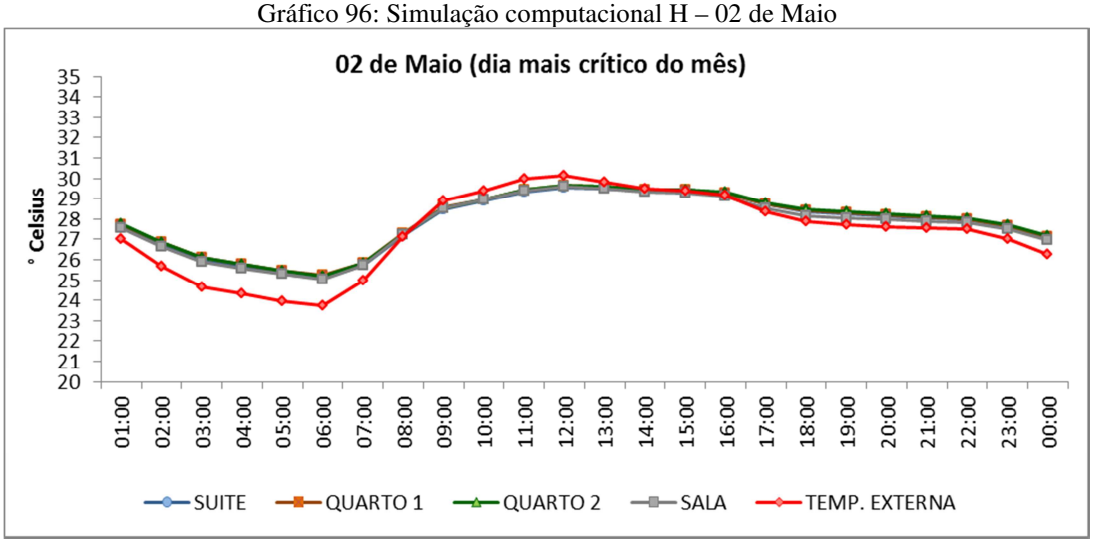


Gráfico 97: Simulação computacional H – 13 de Junho

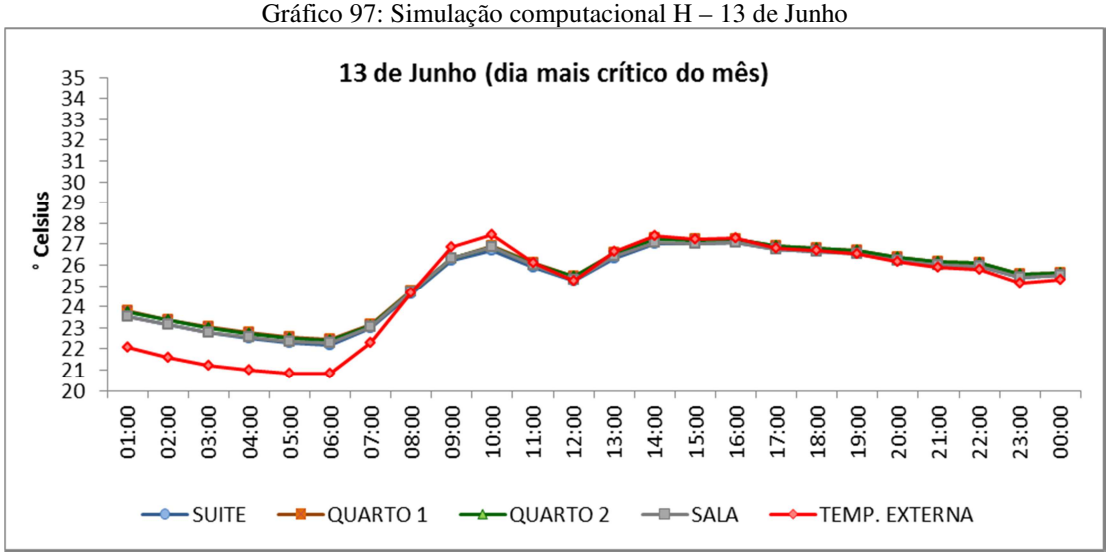


Gráfico 98: Simulação computacional H – 30 de Julho

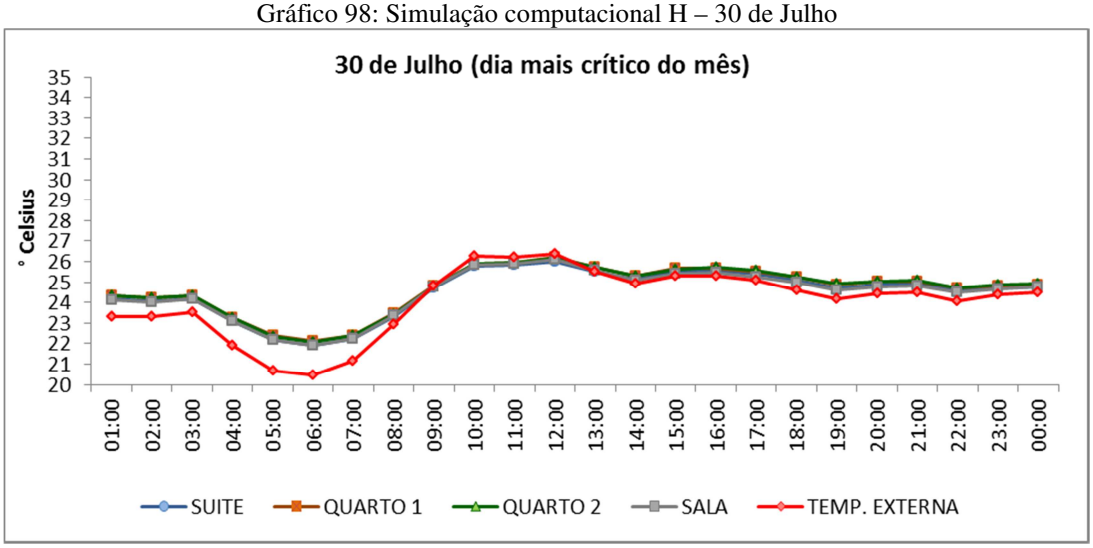


Gráfico 99: Simulação computacional H – 07 de Agosto

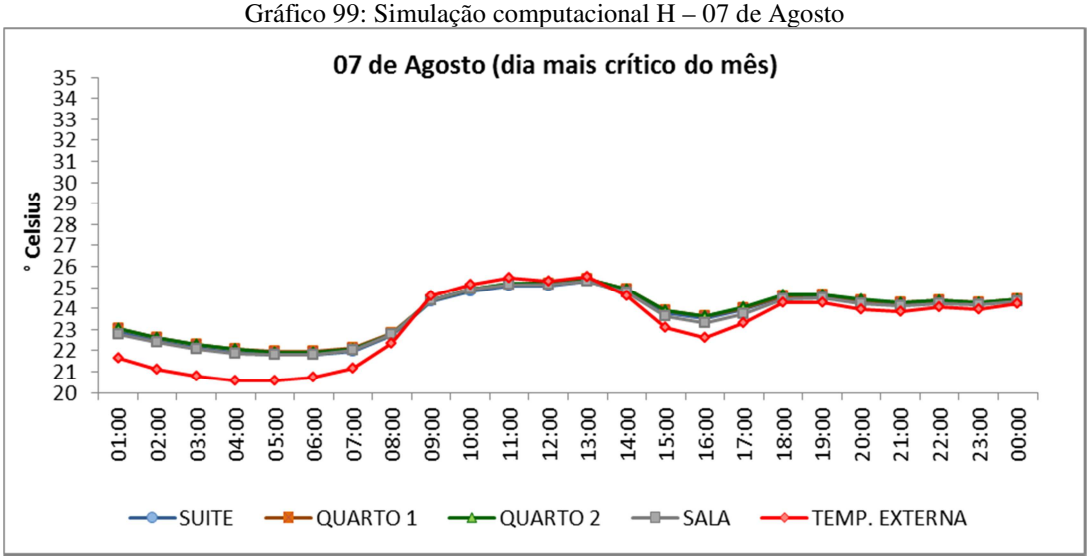


Gráfico 100: Simulação computacional H – 26 de Setembro

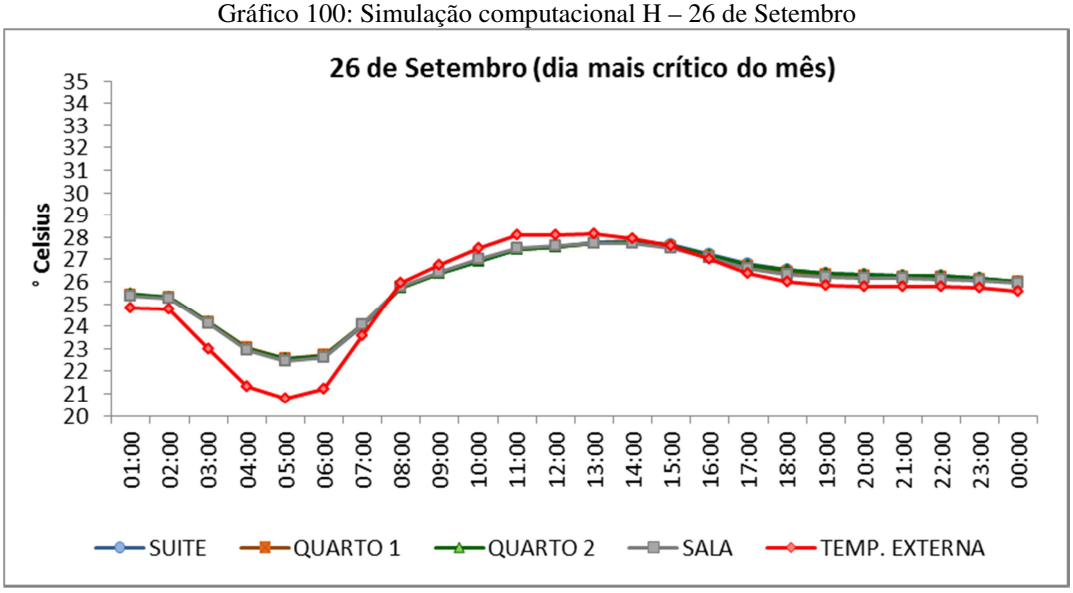


Gráfico 101: Simulação computacional H – 15 de Outubro

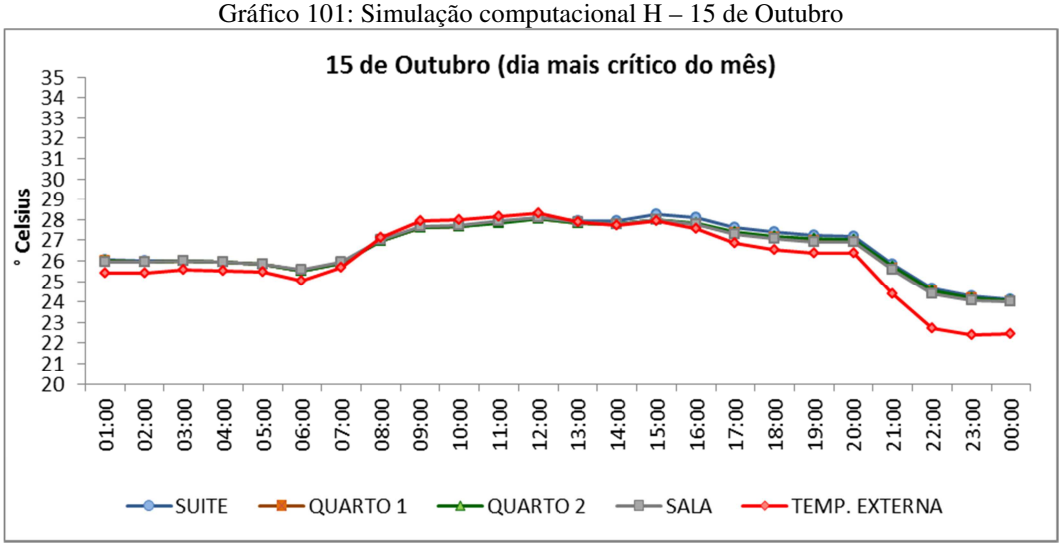


Gráfico 102: Simulação computacional H – 16 de Novembro

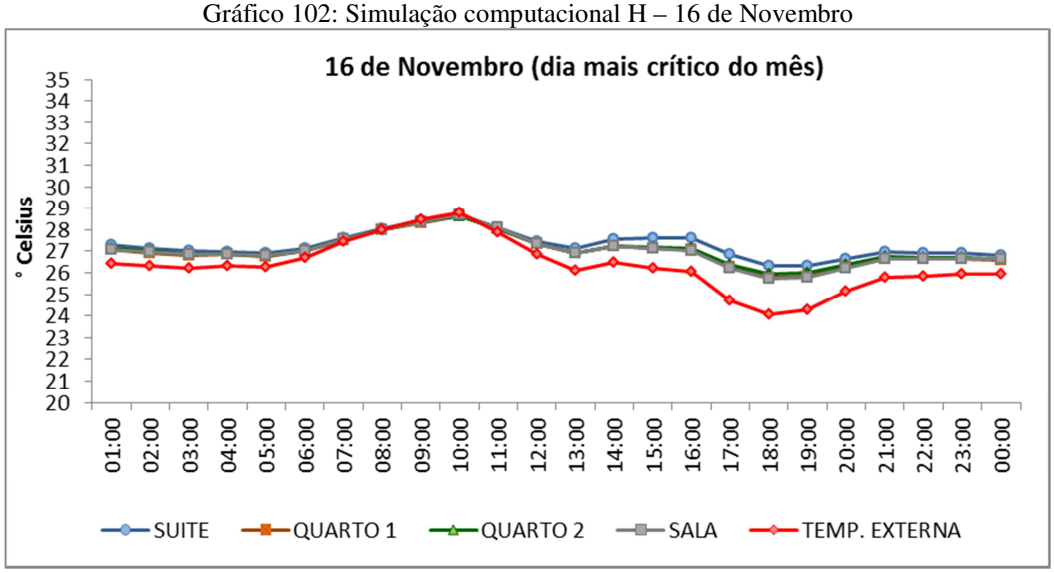
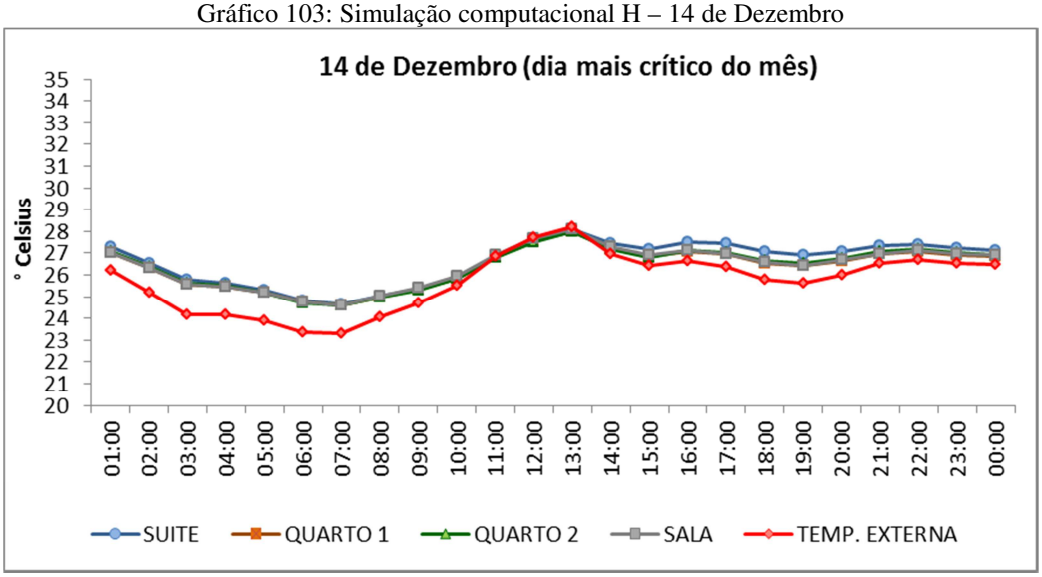


Gráfico 103: Simulação computacional H – 14 de Dezembro



ANEXO A – Resumo das propriedades termofísicas dos materiais – Relatórios internos LabEEE

Quadro 27: Propriedades dos materiais considerados nas paredes que formam a biblioteca do *VisualDOE* e *EnergyPlus*

Nome do material	Espessura equivalente (cm)	Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade equivalente (kg/m³)	Calor específico (kJ/kg.K)	Resistência térmica (m².K/W)
Argamassa de emboço e reboco (2,5cm)	2,5	1,15	2000	1,00	0,022
Câmara de ar (2-5cm)*	-	-	-	-	0,160
Ceram. tij. 6 fur. quad. (9cm)	1,4	0,90	2290	0,92	0,016
Ceram. Tij. 6 fur. quad. (14cm)	5,5	0,90	909	0,92	0,061
Ceram. Tij. 8 fur. quad. (19cm)	8,2	0,90	868	0,92	0,091
Piso cerâmico (10 mm)	1,0	0,90	1600	0,92	0,011
Piso madeira (10 mm)	1,0	0,14	600	2,3	0,071
*Padrão NBR 15220-2.					

Fonte: Adaptado de Ordenes *et al.*, 2003; Weber *et al.,* 2017.

Quadro 28: Propriedades dos materiais considerados nas coberturas que formam a biblioteca do *VisualDOE* e *EnergyPlus*

Nome do material	Espessura (cm)	Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade Massa aparente (kg/m³)	Calor específico (kJ/kg.K)	Resistência térmica (m².K/W)
Câmara de ar com alta emissividade (>5cm)*	-	-	-	-	0,210
Câmara de ar com baixa emissividade (>5cm)*	-	-	-	-	0,610
Telha de barro (1cm)	1,0	1,05	2000	0,92	0,010
Telha de fibrocimento (0,7 cm)	0,7	0,95	1900	0,84	0,007
Telha de fibrocimento (0,8 cm)	0,8	0,95	1900	0,84	0,0084
Laje de concreto (10cm)	10,0	1,75	2200	1,00	0,0571
Laje de concreto (20cm)	20,0	1,75	2200	1,00	0,114
Lã de vidro (2,5cm)	2,5	0,05	50	0,70	0,556
Lã de vidro (5 cm)	5,0	0,05	50	0,70	1,111
*Padrão NBR 15220-2.					

Fonte: Adaptado de Ordenes *et al.*, 2003; Weber *et al.,* 2017.